

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND
Geoloogia osakond

Magistritöö geoloogias
**NARVA LADEME GEOLOOGILINE EHITUS NARVA KARJÄÄRI
EES SEISUGA SÜGIS 2014**
Sander Olo

Juhendajad: PhD Jüri Plado
MSc Hardi Aosaar

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2015

Sisukord

Sissejuhatus.....	3
Eesmärk.....	3
Uuringuala.....	3
Narva lade	5
Ala geoloogiline arengulugu.....	5
Metoodika.....	9
Andmete kogumine	9
Magnetiline vastuvõtlikkus.....	10
Puursüdamike kirjeldamine	11
Gammakarotaaži ja magnetilise vastuvõtlikkuse andmete töötlemine	12
Korreleerimine ja andmebaas	13
Tulemused	15
Paljandi kirjeldamine	15
Magnetiline vastuvõtlikkus.....	17
Gammakarotaaž.....	19
Korreleerimise kontroll.....	22
Marker A.....	22
Marker C.....	25
Arutelu.....	28
Järeldused.....	31
Kokkuvõte	32
Summary.....	33
Geology of Narva stage in frontline of Narva open pit mine in autumn 2014	33

Tänuavaldused	34
Kasutatud kirjandus	35
Kasutatud veebileheküljed	37
Lisad.....	38
Lisa 1.....	39
Lisa 2. PA-12.....	41
Lisa 3. PA-11.....	42
Lisa 4. PA-10.....	42
Lisa 5. PA-9	44
Lisa 6. PA-7	45
Lisa 7. PA-6	46
Lisa 8. PA-3	47
Lisa 9. PA-2	48
Lisa 10. PA-1.....	49

Sissejuhatus

Eesmärk

Narva karjääris toimub põlevkivi kaevandamine vaalmeetodil, kuid ee nihkudes lõuna suunas muutub eemaldamist vajav katend üha paksemaks. Sellest tulenevalt muutub pealmaakaevandamine üha ebaratsionaalsemaks ning kasulikum oleks jätkata allmaakaevandusega. Senises praktikas on Eestis põlevkivi allmaakaevandusi rajatud paksu Ordoviitsiumi katendi kivimite alla. Narva karjääris oleks allmaakaevanduse rajamisel täiesti uus olukord, kuna suure osa katendist moodustavad küllaltki pudedad ja savikad Kesk-Devoni kivimid.

Kesk-Devoni Narva lademe puurimisel on seni puursüdamiku saagikus olnud kohati äärmiselt madal. Käesolev töö püüabki uurida, kas maapõues leiduvat saaks kirjeldada vaid gammakarotaaži alusel, selleks et tulevikus asendada praegune väheefektiivne südamikuga puurimismeetod südamikuta puurimisega, mis oleks majanduslikult ratsionaalsem. Sellel eesmärgil püütakse töös puuraukudest mõõdetud loodusliku gammakiirguse alusel korreleerida puursüdamikud ja luua kogu uuringuala läbilõiget kirjeldav keskmine gammakõver. Lisaks püütakse gammakarotaaži andmetega seostada paljandi kirjeldus ning sellest mõõdetud magnetiline vastuvõtlikkus.

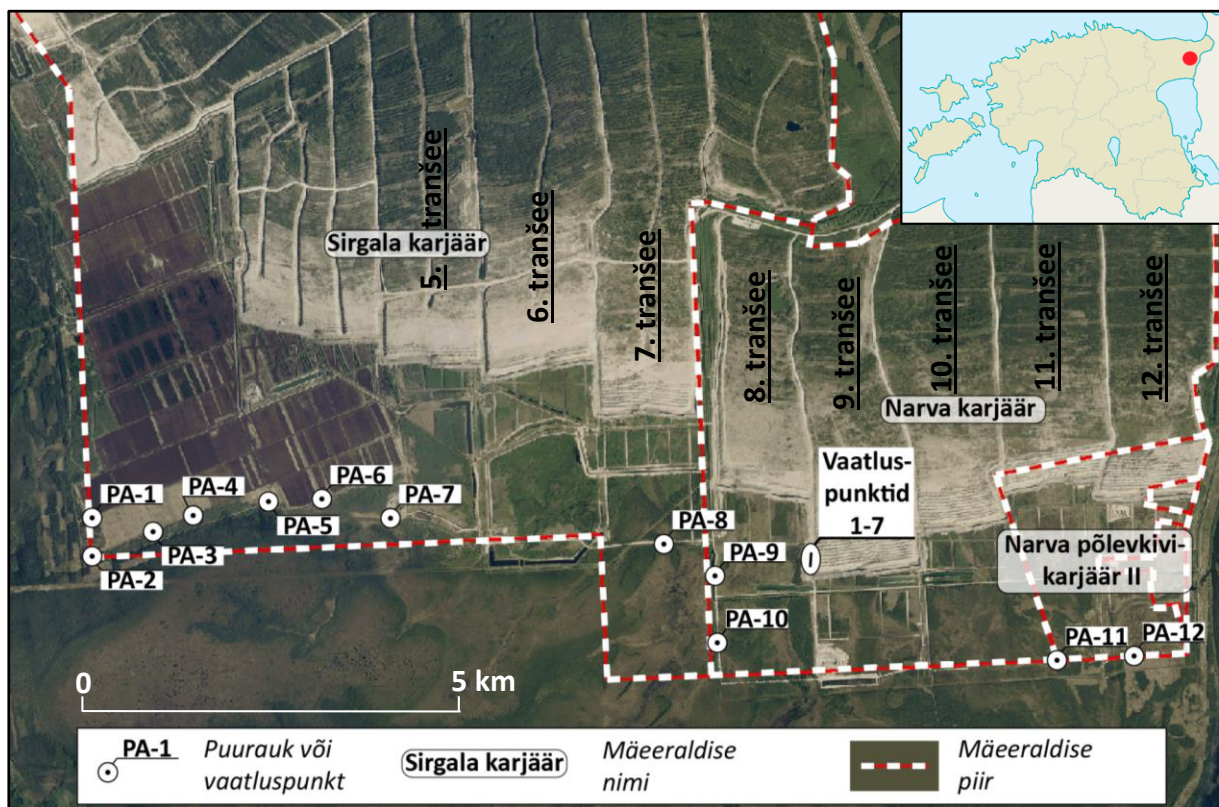
Uuringuala

Narva põlevkivikarjäär asub Ida-Virumaal Illuka, Toila ja Vaivara valdade territooriumil ning koosneb neljast mäeeraldisest: Narva karjäär, Narva põlevkivikarjäär II, Sirgala karjäär, Sirgala II põlevkivi karjäär. Uuringualast lõunas asub Puhatu soo, ning kõige idapoolsemast puuraugust (PA-12) jääb Narva jõgi ca 1 km kaugusele itta. Kõige läänepoolsema ja idapoolsema puuraugu vahe on ca 15 km (Joonis 1).

Aasta 2014 märts kuni juuni viis OÜ Inseneribüroo STEIGER uuringualal läbi puurimisi ja loodusliku gammakiirguse mõõtmisi. Aluspõhja kivimitesse puuriti 12 puurauku (PA-1 – PA-12) (Joonis 1), millest üheksas mõõdeti loodusliku gammakiirgust. Lisaks tehti 6 Kvaternaari pinnasepuurauku (Q1 – Q6), mida antud töö ei käsitle. Gammakarotaažiks kasutati seadmeid: *Robertson Geologging 3-arm Caliper Sond with Natural Gamma* (pikkus: 2,12 m, diameeter: 38 mm), *Robertson Geologging MicroLogger 2*, *Robertson*

Geologging 150 m Mini Winch ja gamma-detektor 50 25 mm NaI(Tl) stsintillatsiooni kristalliga. Looduslikku gammakiirgust mõõdeti karotaaži käigus iga sentimeetri tagant (STEIGER 2014).

Gammakarotaaži mõõteseadme eripärast tulenevalt ei vasta sondeerimissügavused vahemikus 3 – 12 meetrit reaalsele sügavusele. Seega tuleb selle vahemiku sondeerimissügavustest lahutada parand, mis 12. meetri peal on 0, kuid kasvab summeeruvalt ülespoole 0,05 meetrit ühe meetri kohta ning saavutab maksimumi 3 meetri juures, kus tuleb lahutada 0,45 m. Alates 12. meetrist edasi vastavad mõõdetud sügavused reaalsele sügavusele (STEIGER 2014).



Joonis 1. Uuringuala paiknemine. Paljandi kirjeldamine tehti vaatluspunktides 1 - 7, mis asuvad 9. tranšee lääneseinast.

Narva lade

Narva lade, mille paksus varieerub vahemikus 30 – 109 meetrit ja kasvab lõunapoole, levib nii Ida- kui Lõuna-Eestis. Narva lade jaguneb omakorda kolmeks alamlademeks: Vadja, Leivu ja Kernave (Tabel 1) (Kleesment & Mark-Kurik 1997). Narva lade koos Pärnu lademega settisid Kesk-Devoni ajastikul, Eifeliani eal vahemikus 393,3 - 387,7 miljonit aastat tagasi (Pöldvere 2014).

Vadja, kõige alumise alamlademe, stratotüüp asub, mitte väga kaugel uuringualast kirdes, Gorodenka oja suudmes, kus selle kihi paksus on 16 meetrit.

Selle basaalse osa moodustab bretša (Narva bretša), mis koosneb domeriidist ja sorteerimata korrapäratutest dolomiidi tükkidest. Alamlade on peamiselt õhukeste domeriidi, tumehalli kuni musta savi ja kollakas-halli dolomiidi, mis tihti sisaldab kristallilise dolomiidi, kaltsedoni, püriidi või sfaleriidi sooni, kihtide kompleks (Kleesment & Mark-Kurik 1997).

Järgmise alamlademe, Leivu, puhul on tegu peamiselt domeriidiga, mis on omakorda jagatud neljaks kihiks (Valiukevičius et al. 1986, Kleesment 1995). Neist Kirde-Eestini ulatuvad kaks ülemist. Altpoolt kolmas kiht koosneb hallidest aleuroliidi ja liivakivi vahekihtidest ning neljas punakas-pruuni, lillakas-halli ja halli laigulisest massiivsest savikast domeriidist (Kleesment & Mark-Kurik 1997).

Kõige ülemine alamlade, Kernave, koosneb juba peamiselt pruunikas-punasest ja hallist lahtisest ning dolomiidiga tsementeerunud liivakivist, milles aleuroliidi, domeriidi ja savi lisandid (Kleesment & Mark-Kurik 1997).

Ala geoloogiline arengulugu

Enne hilise Siluri – varajase Kesk-Devoni deformatsioone oli enamus Ida-Baltikast, kas madal kontinentaalne merepõhi või kaldalähedane tasandik, mistõttu meie aladel märkimisväärsed pinnavormid praktiliselt puudusid (Puura et al. 1999). Ida-Euroopa

Tabel 1. Eesti Kesk-Devon. Kleesment & Mark-Kurik (1997) järgi.

LADESTIK	LADE	ALAMLADE	
Kesk-Devon	Aruküla	Tarvastu	
		Kureküla	
		Viljandi	
	Narva	Kernave	
		Leivu	IV
			III
			II
			I
	Pärnu	Vadja	
		Tamme	
		Tori	

kraatoni Ordoviitsiumi ja Siluri kivimite kulutuslik reljeef arenes maismaa perioodil hilises Siluris – varajases Kesk-Devonis. Maapinna kerkimine ja meretaseme regressioon olid tingitud lapetuse ookeani sulgumisest loodes (Phillips et al. 1976) ja Tornqvisti ookeani sulgumisest edelas (Ziegler 1990; Schwan 1997). Just loode-kagu suunaline kompressioon kallutas senist aluskorra kaldest tingitud settekivimite kerget lõunasuunalist kallakust ($0,15^{\circ}$ - $0,19^{\circ}$) (Puura & Mardla 1972), lisanduvalt ($0,1^{\circ}$ võrra) kagu suunas (Puura et al. 1999). Peale mereveetaseme langust algas aktiivne karstumine, mille vorme on leitud isegi 50 meetri sügavuselt põlevkivibasseinist (Gazizov 1971; Heinsalu & Andra 1975). Osaliselt on tekkinud karstivormid ning neid täitvad savirikkad setted säilinud tänu Kesk-Devoni setete alla mattumisele (Puura et al. 1999).

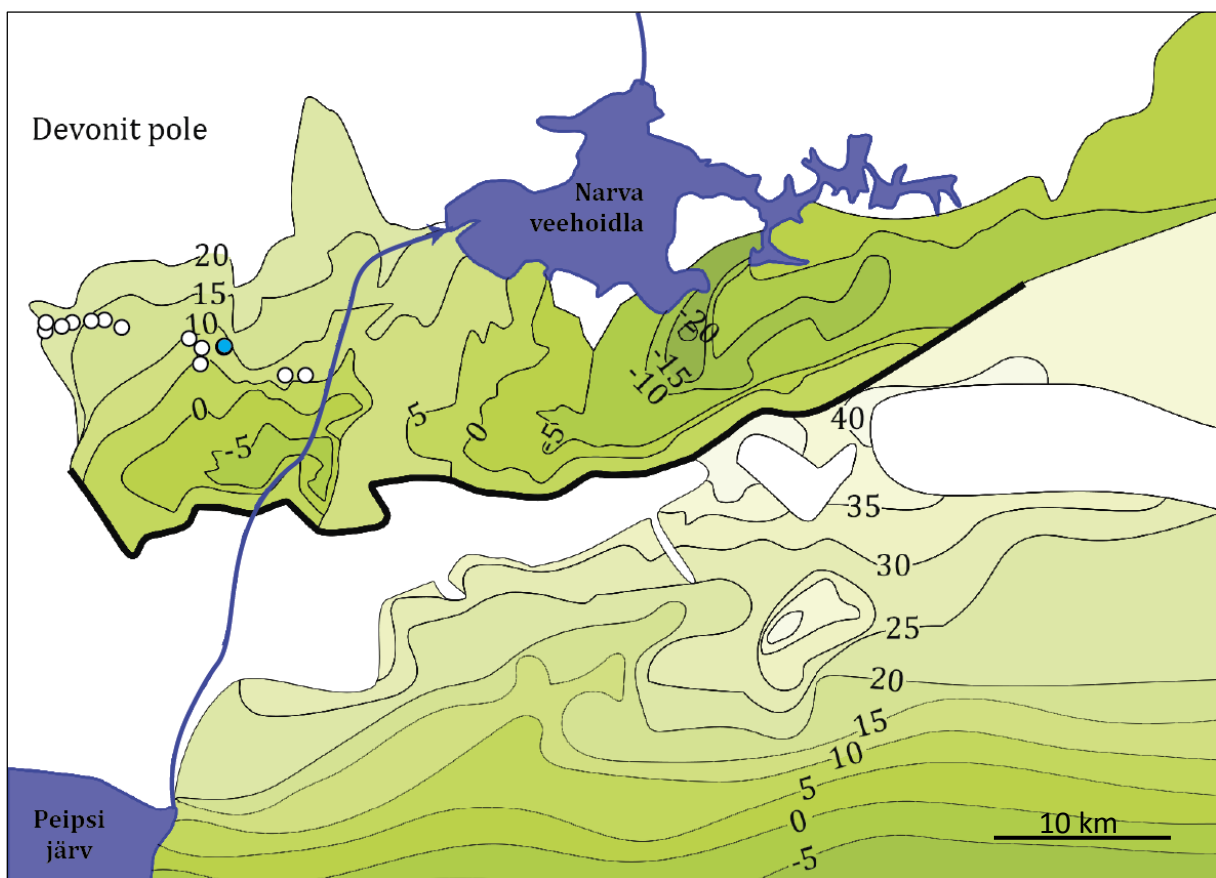


Joonis 2. Ordoviitsiumi tänapäevane pinnamood. Must punktiirjoon on Devoni leviala. P – Pandivere kõrgustik, A – Ahtme kõrgendik ja I – Isuri kõrgustik Puura et al (1999) järgi. Valged ja punased ringid märgivad uuringuala puurauke ning vaatluspunkte.

Praeguseks on Ordoviitsiumi tasane merepõhi erodeeritud neljaks eristuvamaks pinnavormiks (Joonis 2): Pandivere kõrgustik (132 m ümp) (Tavast & Raukas 1982), Ahtme kõrgendik (79 m ümp), Isuri kõrgustik (üle 130 m ümp) ning kahe viimase vahele jääv Narva-Luga madalik (aluspõhja kivimid 20-40 m ümp) (Tuuling 1988). Kui kõrgustikud mängivad rolli ka praeguses pinnamoes, siis Narva-Luga madalik paistab kõige paremini välja kaardilt, mis kirjeldab Devoni lamamit (Joonis 3). Tegu on kulutusliku mitte tektoonilise pinnavormiga, kuna palju uuritud põlevkivikihi hindid kaartidel madalikku enam ei leidu. Madaliku lõunapiiriks on järsk Wesenbergi klint, mis

samuti asub põlevkivikihi tasemest kõrgemal. Kogu ala, mille madalaim punkt asub 20 meetrit alla praegust merepinda, on mattunud Kesk-Devonis (Puura et al. 1999).

Kesk-Devoni settimise ajal pidid kõrgustikud olema vähemalt samade suhteliste kõrgustega, kui mitte kõrgemad. Võimalik, et Devoni kihid matsid enda alla ka eelpool nimetatud kõrgustikud, kuid Fanerosoikumi jooksul need erodeeriti. Paremini säilisid Ordoviitsiumi ja Siluri karbonaadid, mis olid kõvemad kui Devoni purdkivimid (Puura et al 1999).



Joonis 3. Devoni lamami absoluutkõrgused (m ümp) Tuuling (1988) järgi. Must joon vastab Wesenbergi klindi asendile. Sinine joon on tänapäevane Narva jõgi. Valged punktid on puuraugud, sinised vaatluspunktid paljandil.

Kogu Devonis mõjutas settimist nii uuringualal kui üldse Balti basseinis Skandinaavia Kaledoniidide areng. Balti basseini oli algul Kaledoniidide tagune basseini (Plink-Björklund and Björklund 1999). Mäestik saavutas oma kerke maksimumi hilises Vara-Devonis ja varajases Kesk-Devonis (Roberts 2003). Vara-Devonis oli Balti basseini põhjaosa kerkinud, suuresti oli tegu maismaaga, kus toimus erosioon (Kuršs 1992, Paškevicus 1997), kuid ajastiku lõpus hakkas basseini taas vajuma (Plink-Björklund and Björklund 1999; Plink-Björklund and Björklund et al. 2004). Enamik Kesk-Devoni algust toimus Balti

basseinis suuresti terrigeenne sedimentatsioon, mis Eifeliani keskel asendus järsult karbonaatsega (Nikishin et al. 1996), mille algust (ka Narva lademe) märgib laialt levinud bretša kiht.

Transgressiooni käigus settisid Narva regionaalsel ajal basseini äärealadel kaasa-arvatud uuringualal karbonaatide rikkad sabkha ja tõusu-mõõna vööndi setted, mis meretaseme tõusu jätkudes asendusid terrigeensete setetega (Tänavsuu-Milkeviciene et al. 2009). Valdavate setete vahetumise tingis tõenäoliselt tektoonilise režiimi muutus sisemaal, mille tagajärjel ületas terrigeenne materjali sissekanne suhtelise merevee tõusu (Tänavsuu-Milkeviciene 2009).

Metoodika

Andmete kogumine

Kirjeldamiseks Narva lademe läbilõiget ja viimaks läbi magnetilise vastuvõtlikkuse mõõtmisi, tuli leida sobiv paljand. Kõige puhtamateks ja värskemateks paljanditeks oleksid astangud tranšeede lõunapoolsetes otstes, kust draglain ehk mehhaaniline heitkoppekskavaator on värskelt eemaldanud lõhatud katendi (Foto 1). Samas on tegu kirjeldamiseks ebasobivalt kõrge (15 – 20 m), seinaga. Seega oli vaja leida ligipääsetav paljand, milleks osutus 9. tranšee lääneseinas asuv kaldtee (Joonis 1; 4).



Foto 1. Üheksanda tranšee lõunapoolses otsas asuv värske paljand.
Foto Hardi Aosaar.

Kirjeldamiseks sobivate lõikude valimisel tuli leida paljandis läbivalt esinevad omanäolised litoloogilised markerkihid, et vältida samade kihtide mitmekordset kirjeldamist või kirjeldamata jätmist. Kokku valiti kogu paljandi kirjeldamiseks 7 vaatluspunkti (Tabel 2). Kuna tegu polnud sama värske paljandiga kui tranšeede lõunapiiril, siis kirjeldatav lõik puhastati ning kihtide paremaks eristamiseks niisutati. Kogu kirjeldatud paljandi kõrguseks saadi 12,53 meetrit.

Magnetiline vastuvõtlikkus

Magnetilist vastuvõtlikkust mõõdeti samadest vaatluspunktide (1-7) lõikudest, mida ka kirjeldati.

Mõõtmisi viidi läbi seadme Bartington MS3 sensoriga MS2E (seeria 412). Parima tulemuse saamiseks peaks mõõtmist läbi viima siledal pinnal, et sensori pinnal (ring läbimõõduga 2,5 cm) oleks kivimiga maksimaalne kontakt. Väritingimustes on selliste pindade leidmine keeruline. Seetõttu

Tabel 2. Paljandi kirjeldamiseks valitud vaatluspunktid.

punkt	pikkus	koordinaadid
1	2,03	E00716453 N06570605
2	1,68	E00716456 N06570623
3	0,85	E00716454 N06570675
4	1,91	E00716451 N06570693
5	1,97	E00716460 N06570731
6	1,09	E00716467 N06570750
7	3,00	E00716470 N06570771

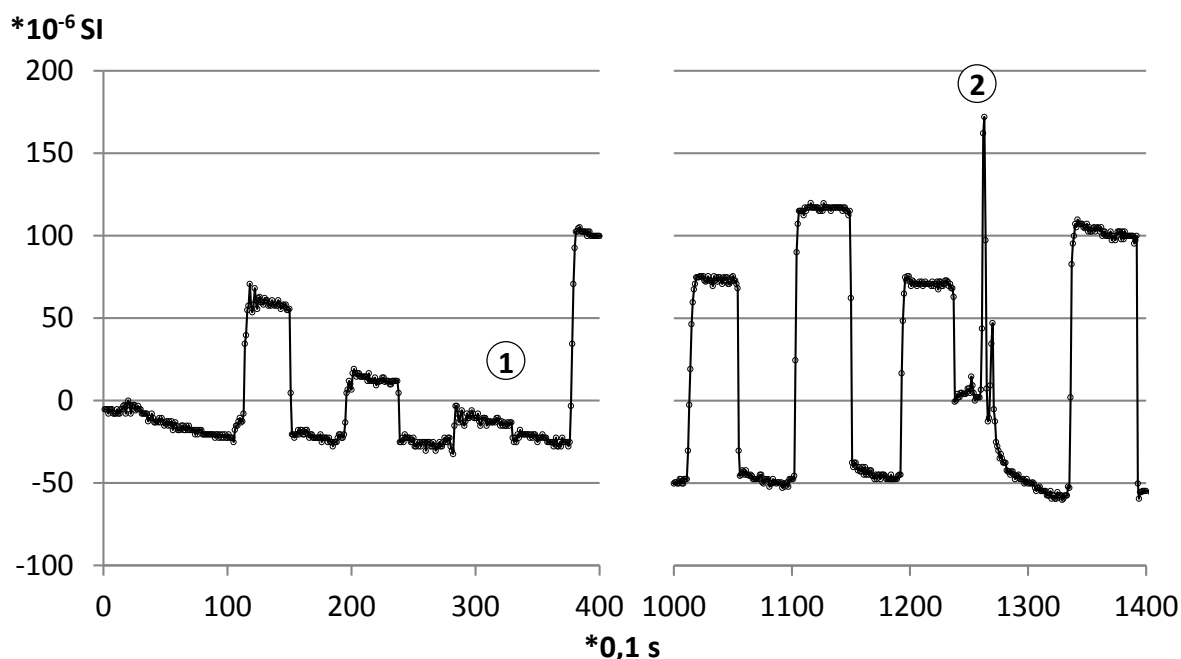
puhastati paljandid hoolikalt, otsiti silma järgi kõige siledamad pinnad, samal ajal jälgides, et esindatud oleks kõik läbilõikes esinevad kihid. Seejärel viidi läbi mõõtmised.



Joonis 4. Kuvatõmme 3D mudelist 9. tranšee servas asuvale kaldteele (kollane punktiirjoon), millelt valiti paljandi kirjeldamiseks 7 vaatluspunkti. Kaldtee tõuseb lõuna suunas. Mudel Marko Kohv.

Seade sooritab mõõtmisi ja salvestab tulemusi iga 0,1 s järel. Iga kõrguspunkti kohta paljandis mõõdeti esmalt tausta hoides sensorit ~10 s paljandist ~1 m kaugusel „õhus“, seejärel paljandil mõõdetaval kohal. Peale andmete väliarvutist allalaadimist ja konverteerimist järjestati mõõtmistulemused kronoloogiliselt ning joonistati graafik (Joonis 5), mille madalad väärtused esindavad enamasti mõõtmisi „õhus“ ja suuremad väärtused mõõtmisi kivimilt. Mõõtmiste eristamine ja kivimitele vastava magnetilise vastuvõtlikkuse väärtuste lugemine toimus visuaalselt. Kuna paljandi mõõtmisi ei viidud läbi järjepidevalt, arvutati punktidele keskmised kõrgusandmed. Selleks jagati

mõõdistatud lõigu pikkus paljandist võetud mõõtmiste arvuga. Kogu paljandi keskmiseks mõõtmiste käiguks oli 2,8 cm.



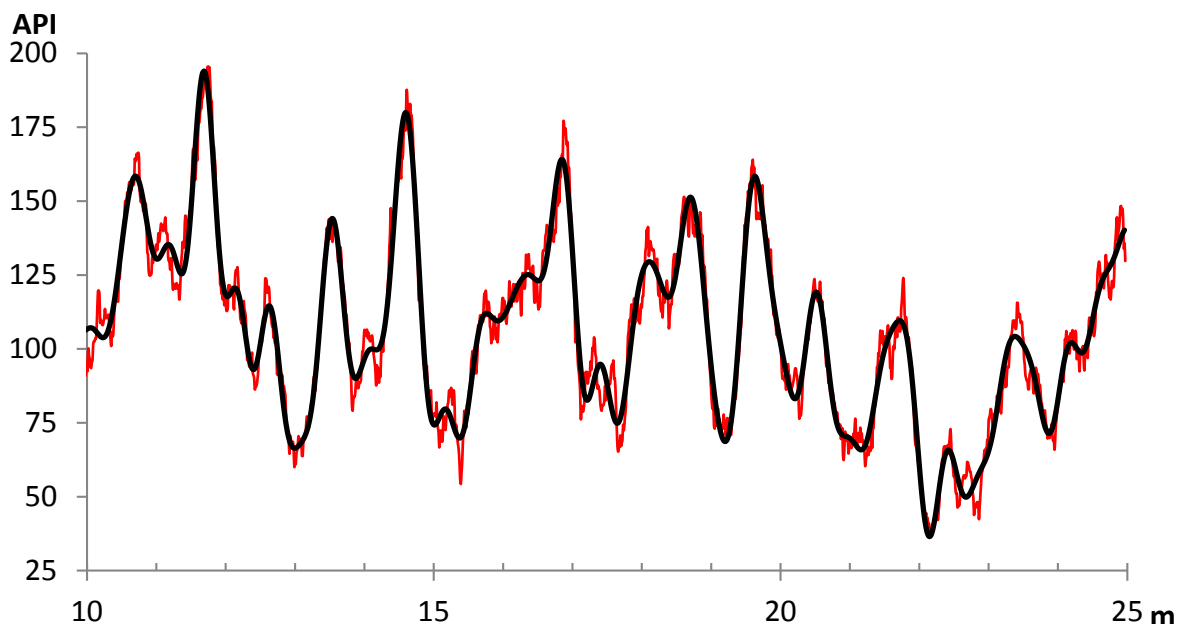
Joonis 5. Magnetilise vastuvõtlikkuse graafikud, millelt loeti vastuvõtlikkuse väärtused. Ülemised tipud on mõõdetud paljandist ja alumised „õhust“. 1. väga madala magnetilise vastuvõtlikkusega kivim, 2. Kunstlik anomaalia, mille põhjuseks on sondi puhastamine savist.

Puursüdamike kirjeldamine

Peale puurimisi andis OÜ Inseneribüroo STEIGER Eesti Energia AS-le üle 12 puuraugu südamikud, mis asusid käesoleva töö teostamise ajal Narva põlevkivikarjääri laoruumis. Kirjeldamiseks valiti välja suurema saagikuse ja rohkem Kesk-Devoni kivimeid sisaldavad puursüdamikud: PA-12, PA-10, PA-8, PA-6 ja PA-3. Antud töö käigus koostatud litoloogiliste kirjelduste aluseks kasutati OÜ Inseneribüroo STEIGER poolt puurimise käigus koostatud üldistatud puursüdamike kirjeldusi.

Gammakarotaaži ja magnetilise vastuvõtlikkuse andmete töötlemine

Karotaaži käigus toimusid mõõtmised iga 1 cm järel, mistõttu toorandmete alusel koostatud gammakarotaaži graafikud on kõrge andmetihedusega ja amplituudilt muutlikud (Joonis 6). Sellest tingitud sakilisus raskendab erinevate puuraukude gamma-graafikute omavahelist visuaalset võrdlemist. Leidmaks puuraugust mõõdetud loodusliku gammakiirguse üldisemaid trende, oli vaja algandmeid keskmistada. Keskmistamiseks kasutati vabavaralist rakendust „SignProc“. See tarkvara on peamiselt mõeldud magnetomeetriliste andmete filtreerimiseks, kuid mitmed töötlemisviisid on kasutatavad ka teist päritolu andmete puhul (Cooper 1999).



Joonis 6. Keskmistamine. PA-11 originaalandmetest gamma-kõver (punane) ja keskmistatud $f_c=15$, $k=100$ (must).

Gammakarotaaži andmete töötlemiseks otsustati kasutada Low Pass filtrit. Selle käigus rakendatakse Fourieri pööret andmete teisendamiseks nende sagedusspektrit iseloomustavaks funktsiooniks ning seejärel eemaldatakse ebavajalikud sagedused. Selleks, et sageduste eemaldamise järel jääksid muutused võimalikult sujuvad, kasutab SignProc eksponentsiaalset funktsiooni:

juhul kui $f \leq f_c$ $A'(f) = A(f) * 1,0$;

juhul kui $f < f_c$ $A'(f) = A(f) * e^{-k(f-f_c)^2}$,

kus f_c = eemaldatav sagedus ja k = hõrendusfaktor. Viimasest oleneb kui järsk eksponentsiaalne langus on (Cooper 1999). Kõigi üheksast puuraugust mõõdetud gammakarotaaži andmete töötlemiseks valiti eemaldatavaks sageduseks 15 ja hõrendusfaktoriks 100.

Järgnevalt tekitati iga puuraugu kohta uus keskmistatud graafik. Eesmärgiks oli kõigi puuraukude gammakõverad korreleerida ja luua uuringuala looduslikku gamma-kiirguse läbilõiget kirjeldav keskmine kõver (edaspidi „superkõver“).

Paljandist mõõdetud magnetilise vastuvõtlikkuse andmete töötlemiseks kasutati samuti Low Pass filtrit. Erinevalt gammakarotaaži andmetest valiti magnetandmete puhul eemaldatavaks sageduseks (f_c) 20. Hõrendusfaktor jäi samaks (k) 100. Lisaks lasti programmil andmete salvestamisel luua uus kõrgusskaala, mis arvutas andmepunkti iga paljandi sentimeetri kohta, et andmed oleksid gammakarotaaži andmetega ühilduvad.

Korreleerimine ja andmebaas

Looduslikes tingimustes ei toimu settimine basseini erinevates kohtades ühesuguse kiirusega, olles tingitud pinnamoest, vete liikumisest, basseini sügavusest, setititava materjali hulgast jne. Seetõttu võivad settekivimite kihtide paksused ja ka litoloogiline koostis olla lateraalselt muutlikud (ehk puursüdamike võrdluses varieeruda).

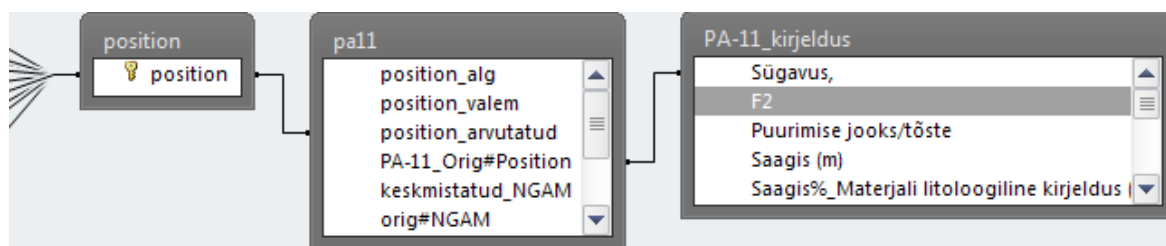
Niinimetatud superkõvera loomiseks viidi kõigi puuraukude gamma-kõverate graafikud ühele tasemele. Selleks loodi uus sügavusskaala. Seejärel otsiti markerkiht (silmatorkav sarnane muster), mis esineks võimalikult paljude puuraukude gammalogides. Nihutades puuraugu andmeid uue sügavusskaala suhtes üles või alla, viidi kõigi kõverate markerkihid ühele tasemele.

Võrdsustamaks puuraukude erinevaid kihtide paksuseid tuli mõningaid kõveraid venitada või kokku pressida. Selleks võrreldi kõveraid visuaalselt ja tehti kindlaks muutmist vajavad lõigud, mille järel korrutati antud lõigu sügavusskaala punktid läbi

kordajaga (enamasti vahemikus 0,97 – 1,06; ühe korra 1,2 ja 1,3). Peale korrutamist nihutati lõigu gammakarotaaži andmeid kas üles- või allapoole, et lõik korreleeruks teiste puuraukude kõveratega.

Kui mõne lõigu venitamise või kokku pressimisega ei saavutatud korreleerumist teiste kõveratega, siis jäeti mõnede lõikude vahele tühimikud, mis iseloomustavad, kas settelünka või erodeeritud kihti. Kõige paremaks näiteks on Kvaternaari ja Kesk-Devoni vaheline lünk.

Peale keskmistatud gammakõverate omavahelist korreleerimist seoti uue sügavusskaalaga omavahel kõigi puursüdamike kvantitatiivsed näitajad. Saamaks ka kirjeldused samale sügavusskaalale, et kontrollida kas ka südamikud korreleeruvad, seoti iga puursüdamiku originaal kõrgustega kirjelduste tabelid (Joonis 7).



Joonis 7. Andmete sidumine Accessis PA-11 näitel:

positon - **position** - uus kõrgusskaala;

pa11 - **position_arvutatud** – gammaandmete korreleerimiseks arvutatud uued kõrgusandmed;

PA-11_kirjeldus - **Sügavus** – puursüdamike kirjelduste sügavusandmed.

Kui kõigi puuraukude andmed olid omavahel seotud, sai uue sügavusskaala iga sentimeetri kohta arvutada kõigi puuraukude gamma-andmete originaalväärtustest keskmise väärtuse. Tulemuste alusel oli võimalik joonistada uuringuala keskmist läbilõiget kirjeldav superkõver.

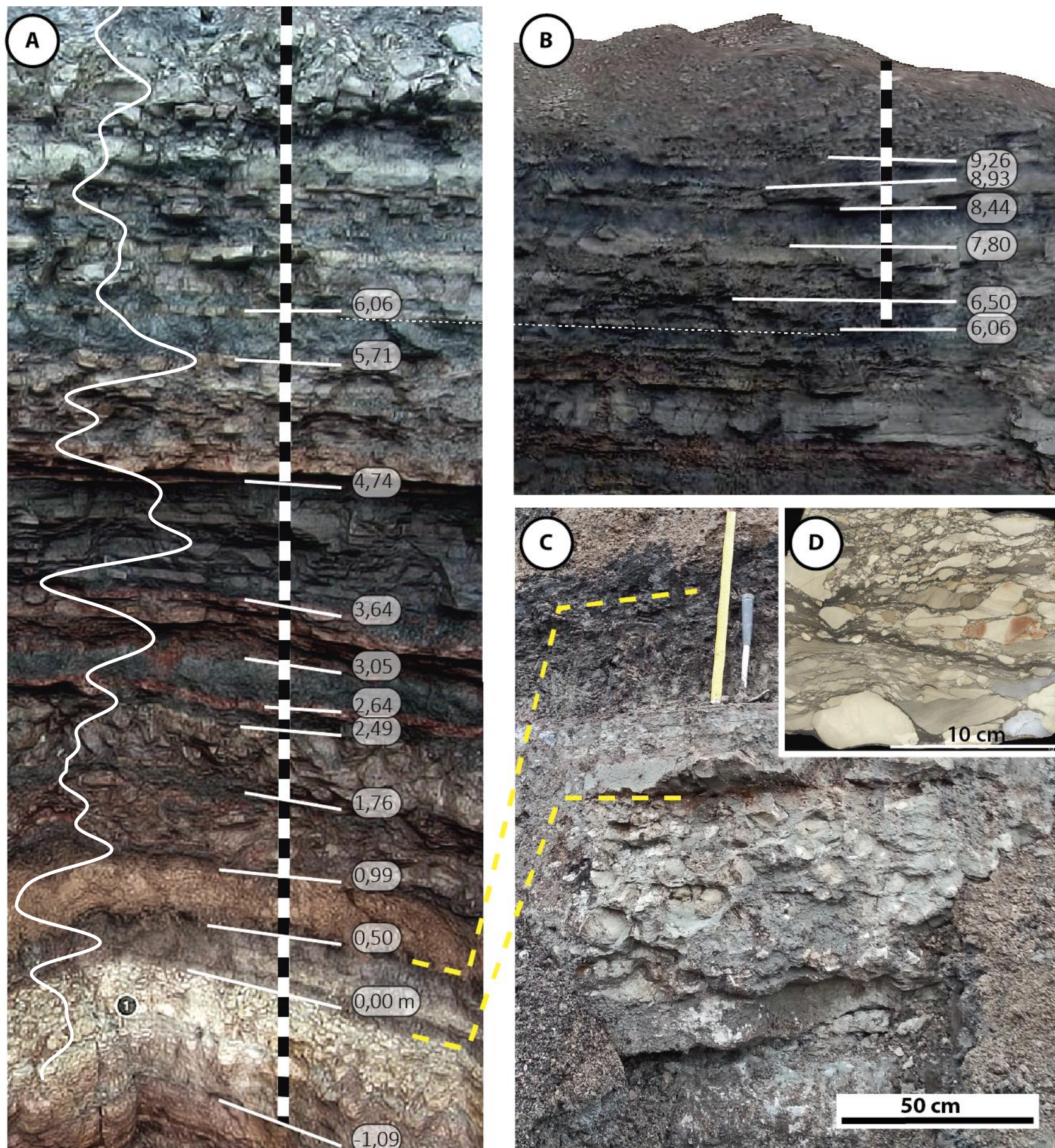
Paljandist mõõdetud magnetilise vastuvõtlikkuse keskmistatud kõver viidi samuti uuele sügavusskaalale ning korreleeriti kõigi gammakarotaaži graafikutega. Selleks kasutati samasuguseid võtteid nagu gamma-andmete puhul (venitamine, lõikamine jne). Nüüd oli võimalik siduda kõigi puursüdamike andmed paljandist saadud andmetega.

Tulemused

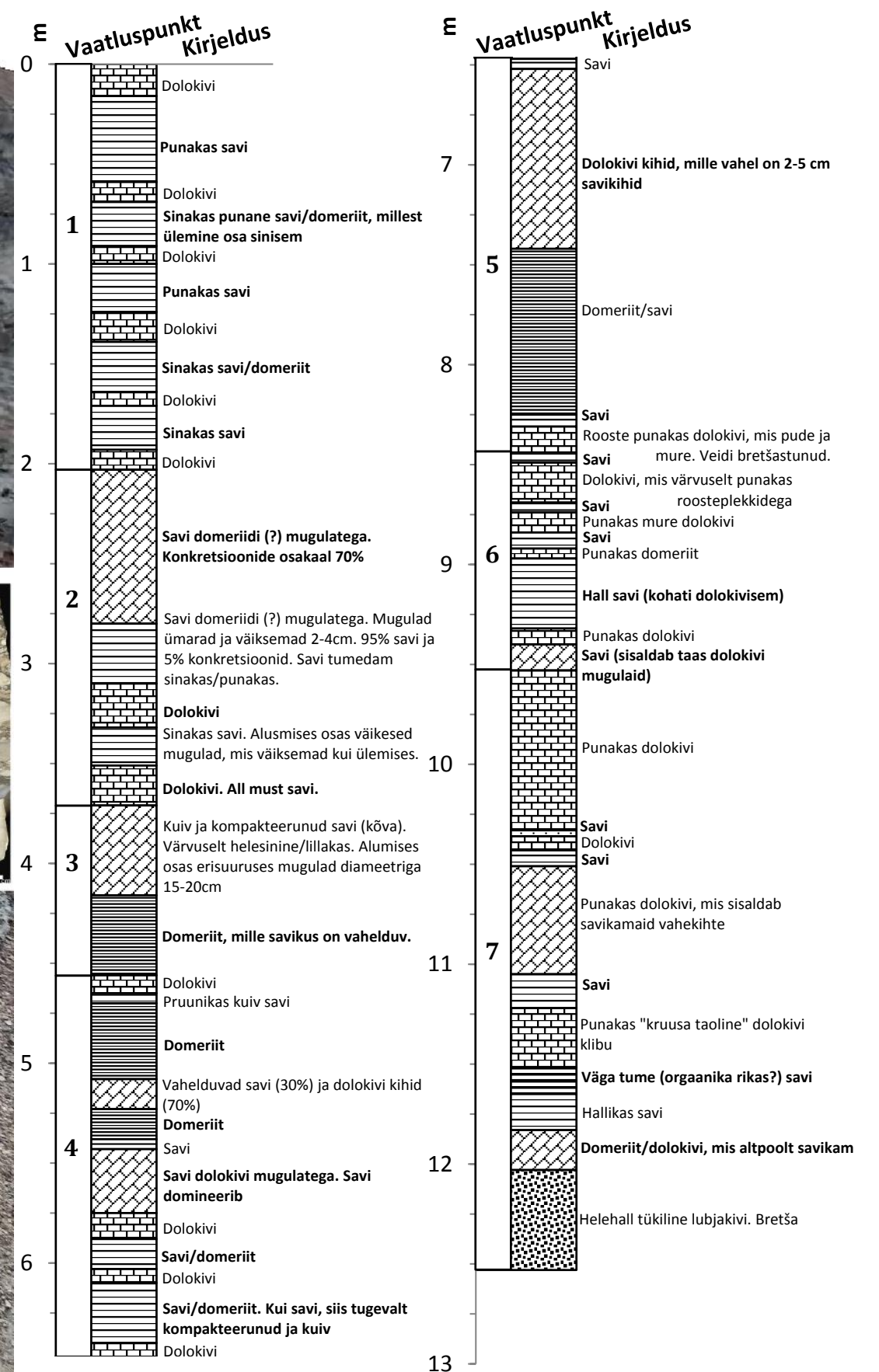
Paljandi kirjeldamine

Terve paljandi kirjeldus koostati 7 vaatluspunkti põhjal (Joonis 1; 4; Tabel 2). Lisaks oli võimalik täiendava materjalina kasutada Marko Kohvi poolt fotogrammeetriliselt loodud 3D mudelit karjääri lõunaseina läbilõikest (Joonis 9A;B). Sellelt mudelilt mõõdistati kihtide suhtelised kõrgused bretša pealse pinna suhtes, mida oli võimalik võrrelda 9. tranšee lääneservas kirjeldatud 7 vaatluspunkti tulemustega (Joonis 8).

Altpoolt algab Narva lade omaale tüüpilise bretša kihiga, mida kirjeldati 7. vaatluspunktis (Joonis 8; Joonis 9A;C). Sellest ülespoole järgneb tumehallide kuni mustade, sinakate, lillakate ja punakas-pruunivate savide, domeriitide ja hallikate kuni punakas-pruunivate dolokivide kihtide kompleks. Kihtide paksused on muutlikud ning esmapilgul mõned paksud karbonaatsemad kihid sisaldavad tegelikult väga õhukesi (2-5 cm) savikaid vahekihte (Joonis 8, vaatluspunktis 5 vahemikus 6,5 – 7,4 m; Joonis 9A, vahemik 4,74 - 5,71 m).



Joonis 9. Paljand. **A** ja **B** – kihtide kõrgused bretša pealse pinna suhtes (mõõtmised 3D mudelilt) Marko Kohvi mudeli järgi. Valge joon on superköver. **C** – bretša vaatluspunktis 7, **D** – käsipala lihv Narva bretšast, mis pärineb Sirgala karjäärist (Eesti geokogud (2006) , GIT 398-826).



Joonis 8. Paljandi litoloogiline kirjeldus. Kõrgused on paljandi vaatluspunkti 1 ülemisest servast.

Magnetiline vastuvõtlikkus

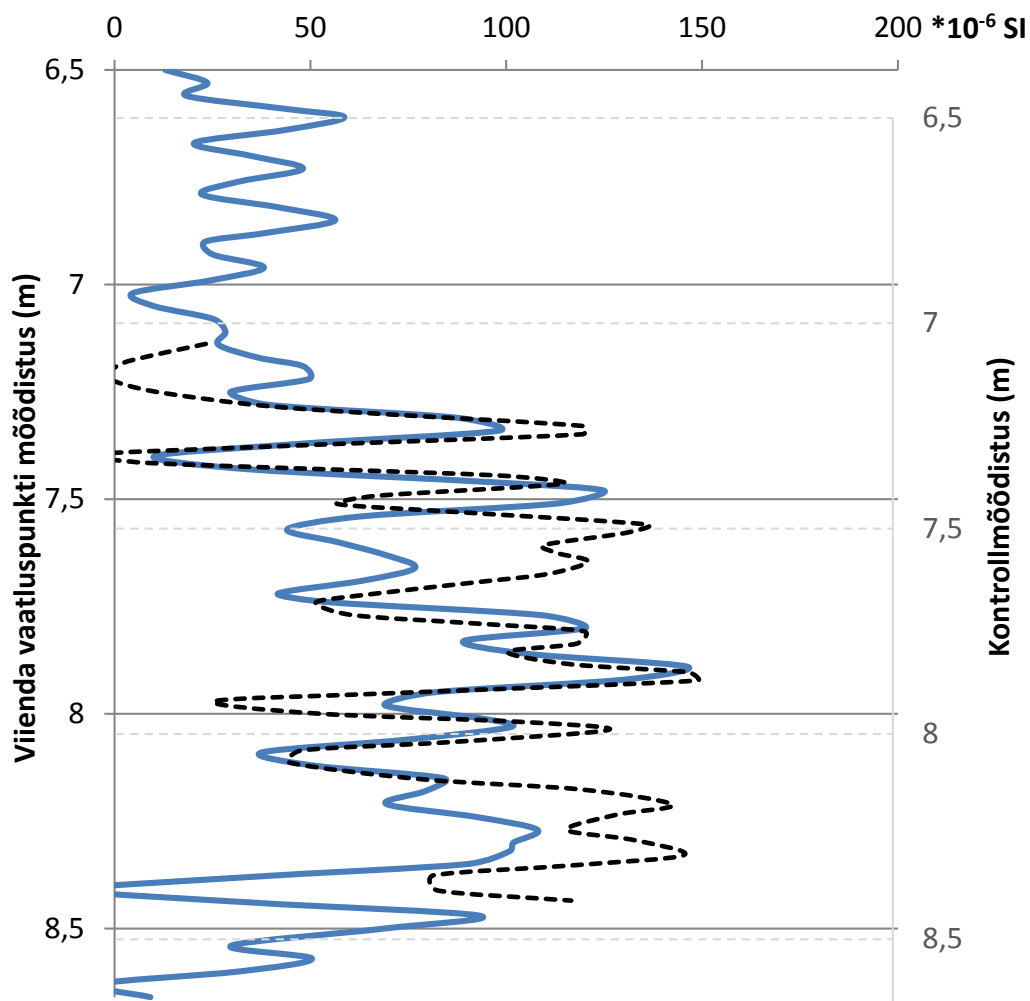
Peale kirjeldamist mõõdeti vaatluspunktides 1-7 magnetilist vastuvõtlikkust. SI süsteemis magnetilisel vastuvõtlikkusel ühikut ei ole ning tulemused esitatakse kujul $\cdot 10^{-6}$ SI. Paljandil jäid mõõtmistulemused vahemikku -10 kuni $200 \cdot 10^{-6}$ SI. Kontrollimaks magnetilise vastuvõtlikkuse usaldusväärsust tehti ka üks kontrollmõõtmine, mille käigus mõõdeti ühte stratigraafilist taset erinevates vaatluspunktides.

Kuuenda vaatluspunkti kirjeldatud lõigu kohalt mõõdeti magnetilist vastuvõtlikkust 1,35 m pikkusel lõigul. See käik kopeerib suurt osa stratigraafilisest tasemest, mida mõõdeti viiendas vaatluspunktis (Foto 2; Joonis 10). Mõlemad mõõtmised näitavad suurt sarnasust (Joonis 10). Kaks graafikut asuvad samal magnetilise vastuvõtlikkuse skaalal. Kontrollmõõdistamise kõrguskaala on võrreldes viienda vaatluspunkti mõõdistamisega veidi kokku surutud. Graafikute väikesed



Foto 2. Kontrollmõõdistus. Vaatluspunktis 6 kirjeldatud lõigu kohal asuv kollane nool markeerib käiku, mis osaliselt kopeerib 5. vaatluspunkti mõõdistatud lõiku.

erinevused on tõenäoliselt tingitud erinevatest kihi paksustest. Suurimaks erinevuseks võib välja tuua vastuvõtlikkuse tippude erinevad amplituudid, kuid see võib olla tingitud välitingimustes sooritatud mõõtmistest (paljandi mõõtmispunktide ebahühtlane pind).



Joonis 10. Magnetilise vastuvõtlikkuse kontrollmõõdistamine. Sinine joon on mõõdistatud 5. vaatluspunktis ja must katkendjoon 6. vaatluspunktis, kuid kirjeldatud lõigu kohalt ehk kopeerides suuresti 5. vaatluspunkti mõõdistust. Mõlemad kõverad on keskmistatud $f_c=72$ ja $k=100$. Kontrollmõõdistuse kõverat on kokku pressitud.

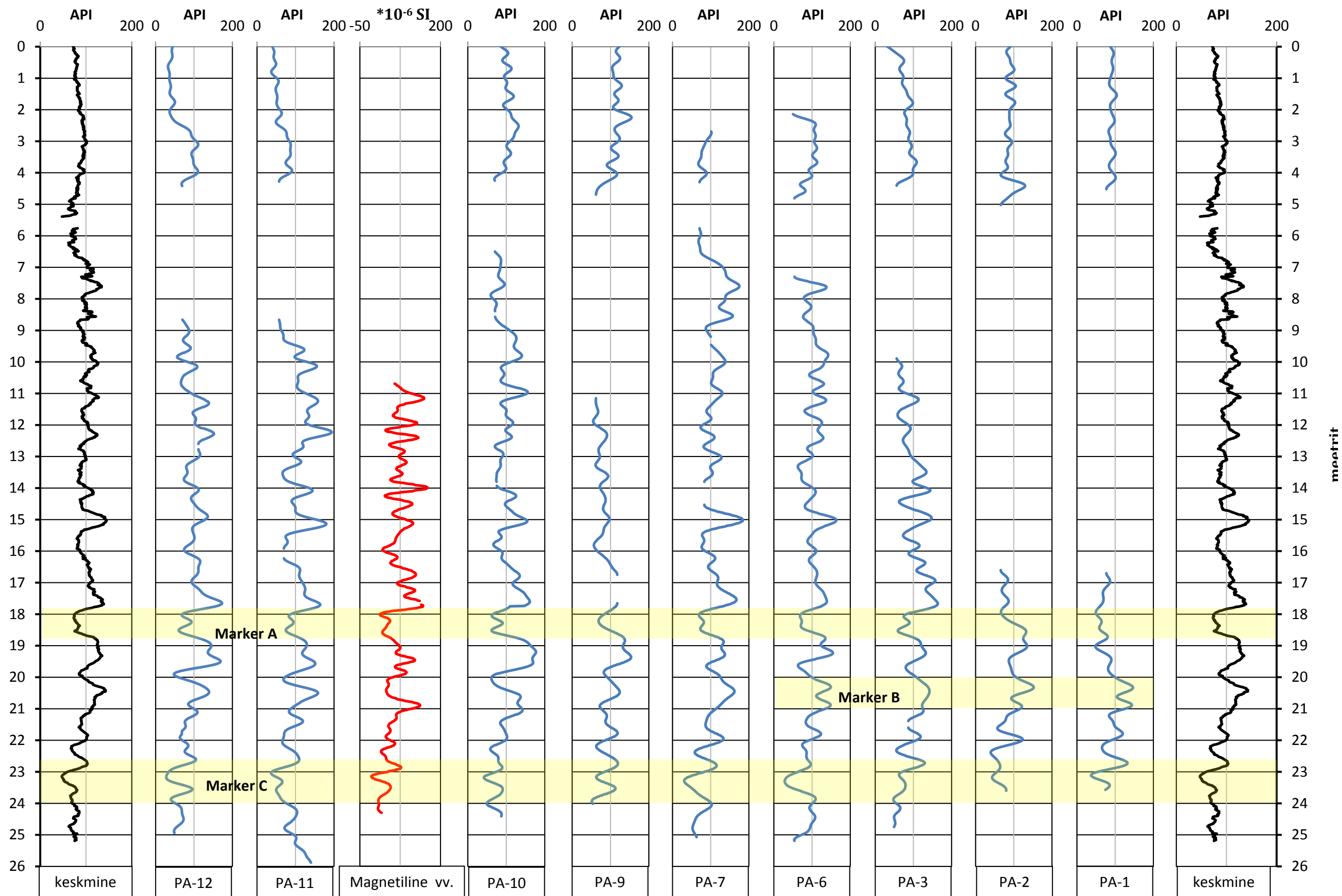
Paljandi kirjelduse ja magnetilise vastuvõtlikkuse kõrvutamisel on hästi näha, et savikamad kihid annavad kõrgemaid väärtuseid ja dolokivisemad madalamaid (Lisa 1, A ja B). Samuti ilmneb trend, kus paljandi ca 6,5 meetrist ülespoole esinevad kõrgemad väärtused (enamasti vahemikus $50 - 100 \cdot 10^{-6}$ SI) ja suuremad amplituudid kui alumises osas (enamasti vahemikus $0 - 75 \cdot 10^{-6}$ SI) (Lisa 1, A ja B). Bretšasse jõudes amplituudid stabiliseeruvad, jäädes $0 \cdot 10^{-6}$ SI lähedale.

Gammakarotaaž

Gammakarotaaži andmed on väljastatud *American Petroleum Institute* (API) ühikutes, mis on defineeritud ja kalibreeritud Houstoni Ülikooli etalonpuuraugus. Antud töös kasutati skaalat vahemikus 0 – 200 API.

Kuna käesolev töö uurib peamiselt Narva ladet, siis keskendutakse gamma-graafikutega peamiselt aluspõhja erinevate kivimikihtide eristamisele ja nende kontaktile Kvaternaari setetega. Seetõttu on gamma-kõverate ülemine Kvaternaari osa suuresti välja jäetud. Kõigi korreleeritud kõverate puhul asub Kvaternaari-Devoni piir orienteeruvalt 4 meetri juures.

Gammakarotaaži andmed pärinevad 9 puuraugust: PA-1, PA-2, PA-3, PA-6, PA-7, PA-9, PA-10, PA-11 ja PA-12 (Joonis 1; 11). Kõik andmed keskmistati ning nende põhjal loodi kõverad. Üheksast kõverast seitsmel (PA-3, PA-6, PA-7, PA-9, PA-10, PA-11 ja PA-12) leidis iseloomulik muster, kus kahe laia kõrge väärtusega tipu vahel asub laiem madalate väärtustega lõik, milles kuue puhul (va PA-9) oli omakorda üks kõrgema väärtusega tipp (Joonis 12, Marker A). Kahe kõige läänepoolsema puuraugu (PA-2 ja PA-1) (Joonis 1; 11), kus selline muster esile ei tulnud, korreleerimiseks kasutati markerit B (Joonis 12). Ülejäänud tippude korreleerimiseks tuli kõveraid vajadusel lõigata, venitada või kokku pressida.



Joonis 12. Omavahel korreleeritud gamma-kõverad, koos uuringuala põhjal loodud keskmise kõvera (**keskmine**) ning paljandist mõõdetud magnetilise vastuvõtlikkuse kõveraga. Korreleerimiseks ja selle kontrolliks kasutati Markereid (A, B, C).

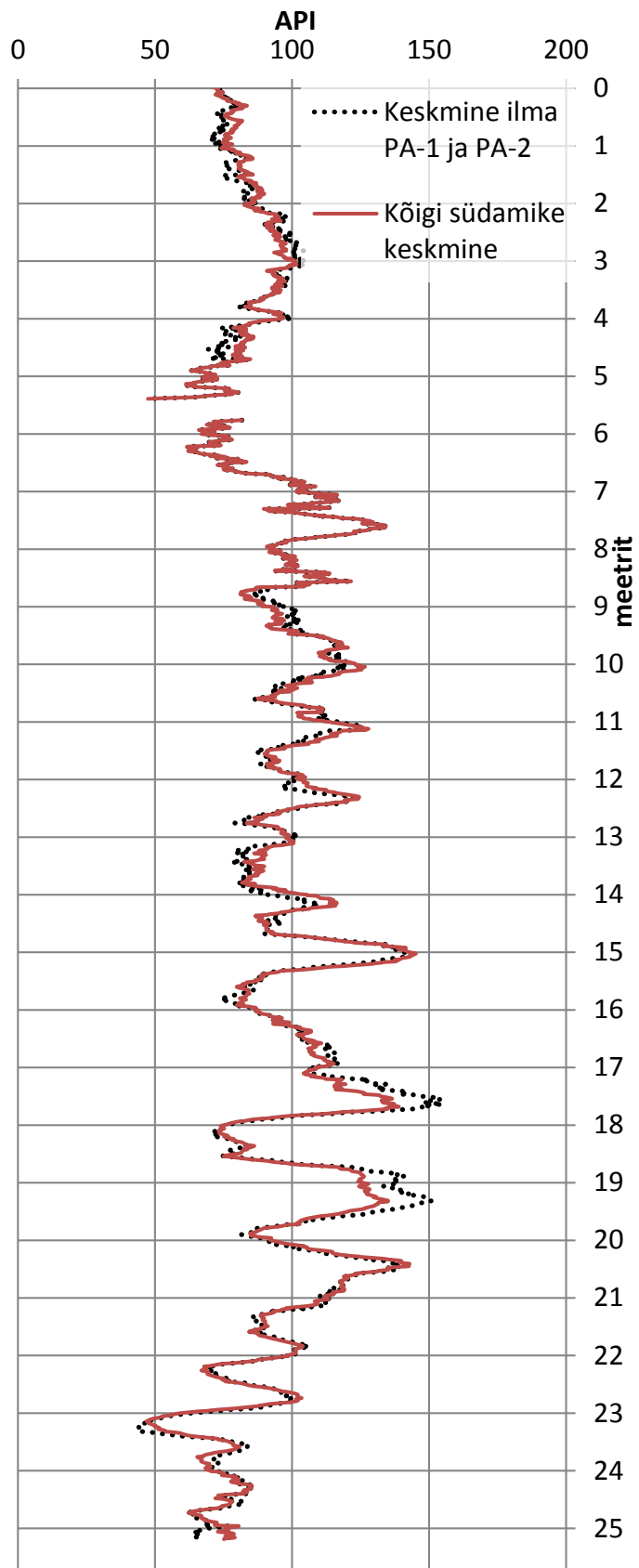
Iga sügavusskaala väärtuse kohta arvutati sellele vastavate gammakarotaaži algandmete põhjal keskmine väärtus, millest joonistati kogu uuringuala keskmist läbilõiget iseloomustav kõver ehk superkõver (Joonis 12; 13).

Superkõvera alguses (vahemik 25-23,5 m) on tegu väikese amplituudi ja ülejäänud kõveraga võrreldes suhteliselt madalate väärtustega. Sellesse vahemikku jääb bretša kiht ning tõenäoliselt ka Devoni ja Ordoviitsiumi piir.

Vahemikus 23,5 – 14 m esinevad suured amplituudid ning kõvera kõige kõrgemad (üle 150 API) ja kõige madalamad (alla 50 API) väärtused.

Vahemikus 14 – 4 m on amplituudid väiksemad kui eelnevas lõigus ning väärtused jäävad 100 API lähedale. Ülemises osas väärtused langevad, kuid enne 4. meetrini jõudmist taas tõusevad veidi.

Neljandal meetril asub Kvaternaari ja Devoni piir, mida märgib veidi kõrgem positiivne tipp. Sellest kõrgemale jääv kõvera osa on pea olematu amplituudiga, kuna



Joonis 13. Uuringuala kirjeldav keskmine kõver ehk superkõver. Punasega märgitud kõigi gammakarotaažide keskmine ja musta punktiirjoonega keskmine, milles on arvestamata PA-2 ja PA-1.

gammakõveraaid selles vahemikus enam ei korreleeritud ning erinevad tipud on teineteist välja taandanud.

Lisades (2-10) on iga puuraugu kohta eraldi kokkuvõte, kus on esitatud töödeldud gamma-kõver, sellega seotud puursüdamike kirjeldused koos puurimise tõste ja puursüdamiku protsentuaalse saagikusega. Puurseadme ühte käiku maa sisse ja üles tagasi ning selle käigus saadavat puursüdamikku nimetatakse üheks jooksuks või tõsteks. Puursüdamike PA-11, PA-9, PA-7, PA-2 ja PA-1 kirjeldused pärinevad OÜ Inseneribüroo STEIGERILT.

Korreleerimise kontroll

Puuraukude gamma-kõverate omavaheline korreleerimine sooritati vaid karotaaži andmete põhjal. Selle käigus ei kasutatud südamike kirjeldusi. Ainuke stratigraafiline piir, mis üle vaadati oli Kvaternaari-Devoni omavaheline piir, mis jääb uue sügavusskaala järgi 4. meetri juurde. Hiljem korreleeriti gamma-kõverate järgi ka magnetilise vastuvõtlikkuse kõver. Korrelatsiooni kontrolliks võrreldi omavahel kõiki puursüdamikke ja paljandi kirjeldust.

Marker A

Uue sügavusskaala järgi on vahemikus 18-19 meetrit hästi näha ühist mustrit (Joonis 12, Marker A), kus tegu madalate väärtustega, mille keskel on üksik kõrgema väärtusega tipp. Paljandis on selles vahemikus näha hallikas-pruunikat paksemat dolokivi kihti, milles savirikkamad vahekihid (Joonis 8, vahemik 6,5 – 7,5 m; Joonis 9A, vahemik 5,71 – 4,74 m; Lisa 1, vahemik 6,5 – 7,5 m). Puursüdamikest võib samast vahemikust leida sarnaseid kirjeldusi (Joonis 14):

- | | |
|----------------------|--|
| PA-12 jook 14 | Südamikusaagis 50%_Hallikas-pruunikas savi, pruunikas dolokivi , milles savi vahekihid (lainjad ja kaldkihilised), alumine 15 cm hallikas savi. |
| PA-11 jook 11 | Südamikusaagis 45%_Valdavalt dolokivi , savi vahekihtidega (savi väljapestud), tumesinine, kõva savi. |

- PA-10** jooks 13 Südamikusaagis 63%_**Dolokivi** savi vahekihtidega, sinakas-hall kuni **punakas-pruun**.
- jooks 14 Südamikusaagis 45%_Helehall dolokivi, milles kitsad savirikkamad tumedamad sinakas-hallid savi vahekihid.
- PA-9** jooks 20 Südamikusaagis 31%_Savi, tumesinine, tihe, üksikute dolokivi ja pruuni savi vahekihtidega (valdavalt pruun savi, **dolokivil on punakas-pruunid laigud**).
- PA-7** jooks 17 Südamikusaagis 68%_**Dolokivi**, hall, esineb **punakas-pruune** savikamaid vahekihte ja tsoone.
- PA-6** jooks 17 Südamikusaagis 53%_10 cm punakas hall dolokivi, 20 cm punakas savi, **35 cm punakas dolokivi** (alguses tumepunane kiht 5cm) ja 10 cm sinakas savi (domeriit).
- PA-3** jooks 12 Südamikusaagis 30%_Ülemine 5 cm savi. Muidu **dolokivi** rohkete savi vahekihtidega, **hall kuni punakas-pruun**.
- PA-2** Sügavusskaala vahemikus 18 – 19 m otsitavale kirjeldusele vastavaid kivimeid ei leitud. Sarnased kihid esinesid hoopis meeter kõrgemal jooksudes 10 ja 11:
- jooks 10 Südamikusaagis 38%_**Dolokivi savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun**
- jooks 11 Südamikusaagis 55%_Valdavalt savi, kõva, **ülaosas dolokivi tükkidega**, sinakas-hall.
- PA-1** jooks 11 Südamikusaagis 20%_Valdavalt **dolokivi, hall kuni punakas-pruun, savi vahekihtidega**.



PA-12. Jooks 14.



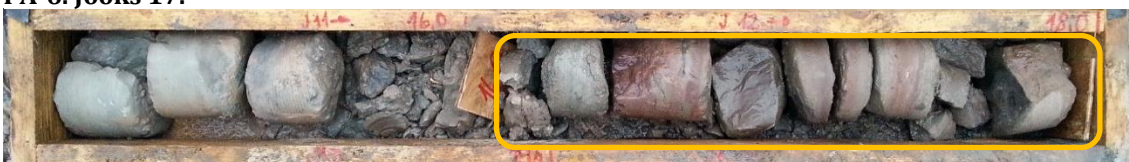
PA-11. Jooks 11.



PA-10. Jooks 13 ja 14.



PA-6. Jooks 17.



PA-3. Jooks 12.

Joonis 14. Marker A puursüdamikes. Huvipakkuv jooks/tõste on märgistatud kollase kastiga.

Marker C

Uue sügavuskaala järgi on vahemikus 22,5 - 24 m hästi näha ühist mustrit (Joonis 12, Marker C), kus kõverates esineb üksik madal tipp. Paljandis annab selle madala tipu savi kihi all üks punakas „kruusa taoline“ dolokivi klibu, millele järgneb väga tume savi, hallikas savi, hallikas domeriidi/dolokivi kiht ning helehall bretša (Joonis 8, vahemik 11 – 12,5 m; Joonis 9A, vahemik 0,99 – (-1,09) m; Lisa 1, vahemik 11– 12,5 m). Puursüdamikes esineb selles vahemikus olukord, kus pruunikad dolokivi, selle klibu, halli ning musta savi ja domeriidi kihtide järel algab hele kuni tumehall lubjakivi või dolomiidistunud lubjakivi kiht (Joonis 15):

PA-12 jooks 17	Südamikusaagis 44%_10 cm punakaspruun dolokivi, 40 cm punakas-pruunikas dolokivi klibu, 15 cm musta ja halli dolokivi savi segu, 15 cm helehall dolokivi (bretša pealne?)
jooks 18	Südamikusaagis 100%_Lubjakivi tükid, valkjas-hall. Pruunikad vahekihid. Vahepeal esineb must kiht.
PA-11 jooks 13	Südamikusaagis 22%_Valdavalt dolokivi, savi vahekihtidega (savi välja pestud)
jooks 14	Südamikusaagis 31%_ Lubjakivi põlevkivi vahekihtidega.
PA-10 jooks 20	Südamikusaagis 30%_Savi (suur osa läinud), kastis pruunid dolokivi tükid, milles omakorda punakad vahekihid.
jooks 21	Südamikusaagis 100%_10 cm tumepruun/mustjas lubjakivi/dolokivi, 25 cm helehall kuni pruunikas lubjakivi/dolokivi ning alumine 5 cm mustjas savi.
PA-7 jooks 20	Südamikusaagis 35%_Savi, kõva, sinakas-hall kuni punakas-pruun. Alumises osas ~0,10 dolokivi/lubjakivi, valkjas-hall
jooks 21	Südamikusaagis 100%_Lubjakivi, valkjas-hall. Alumises osas ~0,30 pruun põlevkivi vahekiht.

PA-6 jook 20	Südamikusaagis 35%_Dolokivi savi vahekihtidega, savi punane, dolokivi hall (savi väljapestud). Näha katkestuspinda.
jook 21	Südamikusaagis 100%_Ülevalt: 40 cm tumehall dolokivi punaste peenikeste savi vahekihtidega, 130 cm helehall dolokivi (lubjakivi?) tumedate vahekihtidega, lõpus must kiht ja siis 70 cm tumehall lubjakivi.
PA-3 jook 15	Südamikusaagis 63%_10 cm savi, 50 cm dolokivi savi vahekihtidega, 20 cm väga tume savi, milles dolokivi vahekihid ning alumine 30 cm hallikas/punakas kruus (savi?)
jook 16	Südamikusaagis 65%_60 cm pruunikas dolokivi savi vahekihtidega. (D/O piir?). Järgnevalt dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall punakate viirgudega
PA-2 jook 15	Südamikusaagis 50%_Dolokivi savi vahekihtidega, pruunikas-hall
jook 16	Südamikusaagis 100%_Dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall
PA-1 jook 14	Südamikusaagis 27%_Dolokivi savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun
jook 15	Südamikusaagis 59%_10 cm dolokivi savi vahekihtidega. (D/O piir?). Järgnevalt dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall



PA-12. Jooks 17 ja 18.



PA-11. Jooks 13 ja 14.



PA-10. Jooks 20 ja 21.



PA-6. Jooks 20 ja 21.



PA-3. Jooks 15 ja 16.

Joonis 15. Marker C puursüdamikes. Huvipakkuv jooks/tõste on märgistatud kollase kastiga.

Arutelu

Käesoleva töö käigus püüti korreleerida madala saagikusega puuraugud gammakarotaaži alusel ning püüda neid siduda paljandist mõõdetud magnetilise vastuvõtlikkuse ja litoloogiliste kirjeldustega.

Kõrgem looduslik gammakiirgus viitab peamiselt suuremale savi sisaldusele. Tavapäraselt kaasneb saviga ka kõrgem raua sisaldus, mis nagu orgaaniline materjal seob hästi radioaktiivseid elemente. Narva lademe kivimid on üldiselt orgaanikavaesed, kuid looduslik gammakiirguse tase on kõrge ja üpriski stabiilse amplituudiga (Kleesment 2005).

Tulenevalt savide võimest siduda nii radioaktiivseid kui ferrimagnetilisi elemente annavad gammakarotaaži ja magnetilise vastuvõtlikkuse mõõtmised savirikastest kihtidest kõrgemaid väärtuseid kui näiteks dolokividest. Seetõttu oli võimalik korreleerida paljandist mõõdetud magnetiline vastuvõtlikkus puuraukudest saadud gammakarotaaži tulemustega, viies kõik andmed uuele ühisele sügavusskaalale. Gamma-andmed viidi ühtsele skaalale koos puuraugu reaalseste puurimissügavustega. Läbi nende oli võimalik uue skaalaga siduda südamike litoloogilised kirjeldused. Samamoodi viidi uuele skaalale magnetilise vastuvõtlikkuse andmed koos algsete kõrgusandmetega ning seeläbi oli uue skaalaga võimalik siduda ka paljandi kirjeldused.

Korreleerimise aluseks olnud markerit (Marker A) kontrolliti puursüdamike ja paljandi litoloogiliste kirjelduste omavahelisel kõrvutamisel uuel sügavusskaalal. Selle käigus ilmnas, et enamik puursüdamike ja paljandi litoloogilisi kirjeldusi asuvad sarnastel tasemetel. Puursüdamike puhul oli raskendavaks teguriks puurimise väga madal südamiku saagis, mis ei võimaldanud uurida puursüdamike litoloogia ja gammakõverate seoseid eraldiseisvalt. Peamiselt on puurimise käigus südamikest välja pestud savi, mistõttu oli kasulikum võrrelda kõverate madalamatele tippudele vastavaid kirjeldusi, milleks on peamiselt puurimisele paremini vastupidavad dolokivi kihid.

Kontrolli käigus ilmnas, et PA-2 südamiku kirjeldus ei korreleeru teistega. Täpsemalt vaadeldes tundub terve südamik ca 1 meetri võrra teistest kõrgemal asuvat. Selle anomaalia põhjuseid võib olla kaks:

- a) Tegu on ühe kõige läänepoolsema puurauguga (Joonis 1; Joonis 11), kus Narva lade tasapisi välja kiildub. Õhukest ladet kirjeldavat lühikest gamma-kõverat oli keeruline teiste palju pikemate kõveratega korreleerida. Juba esimese ühise markeri (Marker A) otsimisel esines probleem puuraukudega PA-2 ja PA-1. Teiste südamikuga korreleeriti need kaks teise markeriga (Marker B), mille tulemusel võis tekkida ebatäpsuseid. Vältimaks sellise probleemi kordumist peaks lühemaid (näiteks Narva ladet alla 10 m sisaldavaid) kõveraid üldse mitte kasutama või korreleerima neid omavahel.
- b) Tegu võib olla puurimise käigus tekkinud veaga. Suured kaod võivad tekitada segadust puursüdamike märgistamisel. See tähendab, et gamma-andmed on õiged, kuid südamikud asuvad valel sügavusel.

Superkõvera loomisel võeti aluseks kõik omavahel korreleeritud gammakarotaaži tulemused ning arvutati nende põhjal keskmine kõver. Kui kõverad on eelnevalt omavahel korrektselt korreleeritud, siis annab selline meetod hea pildi uuringuala keskmisest läbilõikest. Uurimaks võimalike korreleerimisel tekkivate ebatäpsuste mõju, mida eelmistes lõikudes PA-2 näitel just käsitleti, uuringuala keskmisele ehk superkõverale, arvutati see kaks korda. Esimene superkõver kõigi 9 puuraugu gamma-andmete põhjal ning teise puhul jäeti välja kahe kõige läänepoolsema puuraugu (PA-1 ja PA-2) andmed. Neid omavahel võrreldes (Joonis 13) on näha, et üldisi trende ega kihipaksuseid puuraukude PA1 ja PA2 kasutamine või mittekasutamine ei mõjuta ning madalate ja kõrgete väärtuste tipud jäävad samadele sügavustele. Vähest mõju on näha kõvera amplituudidele.

Uuringuala keskmist kõverat ehk superkõverat võrreldi Marko Kohvi 3D mudeliga (Joonis 9A). Marker A ja C ning ülejäänud kõver korreleerub väga hästi paljandis esinevate kihtidega, kus gammakõvera madalatele väärtustele vastavad dolokivi rikkamad kihid ning kõrgetele tippudele savikamad.

Magnetilise vastuvõtlikkuse kõvera puhul oli märgata trendi, et ülemise poole väärtused on kõrgemad kui alumises pooles. Sellest tulenevalt võib oletada, et paljandi ülemine pool on mõnevõrra savirikkam kui alumine. See võib viidata Narva lademe seadmise ajal jätkunud transgressioonile, mille käigus asendusid karbonaatsemad setted terrigeensemate setetega (Tänavsuu-Milkeviciene et al. 2009). Kui otsida sarnast trendi

gammakarotaaži andmetest, siis see nii silmatorkav ei ole. Pigem on gamma-andmetest näha, et samast tasemest, kus kasvavad magnetilise vastuvõtlikkuse väärtused, muutuvad gammakõverate amplituudid mõnevõrra stabiilsemateks. Alumise otsa suuremad kõikumised võivadki tingitud olla Narva aja alguse muutlikust settekeskkonnast, mil settisid karbonaatide rikkad sabkha ja tõusu-mõõna vööndi setted (Tänavsuu-Milkeviciene et al. 2009).

Paljandi kirjeldamisel nähti peamiselt tumehallide kuni mustade, sinakate, lillakate ja punakas-pruunikate savide, domeriitide ja hallikate kuni punakas-pruunikate dolokivide kihtide kompleksi, mis algas altpoolt bretša kihiga. Arvestades varasemaid kirjeldusi (Kleesment & Mark-Kurik 1997) võib oletada, et paljandis on näha Narva lademe Vadja alamladet.

Otsekorrelatsiooni mõne paljandile lähemal asuva puurauguga ei olnud võimalik teha. PA-8 puhul puudusid gammakarotaaži tulemused ning PA-9 puurimisel jäi puurseade kinni, mille kättesaamise tulemusel läks arvestatav osa südamiku alumisest osast kaduma. Lisaks sellele asub PA-9 piirkonnas (Joonis 11), kus Narva lade on tõenäoliselt intensiivsema erosiooni tulemusel märksa õhem (4,4 – 7,3 m võrreldes ümberkaudsete puuraukudega vastavalt PA-8 ja PA-10) ja asendunud suuremas paksuses Kvaternaari purdsetetega. Seetõttu on PA-9 puhul ka suur osa Narva lademe ülemist osa puudu.

Järeldused

Gammakarotaaži kõverate omavaheline korreleerimine annab üldiselt häid ja usaldusväärseid tulemusi, mille põhjal võib järeldada, et uuringualal leviv Narva lade on lateraalselt ja litostratigraafiliselt ühtlane. Raskuseid tekitasid kõige läänepoolsemad puuraugud PA-1 ja PA-2, kus Narva lade esineb võrreldes teiste puuraukudega märksa õhemalt. Sellest tulenevalt tuleks kaaluda, kas edaspidi üldse kasutada korreleerimiseks lühemaid (näiteks Narva lademe paksus alla 10 m) puurauke või püüda neid omavahel korreleerida.

Uuringuala keskmise läbilõike kirjeldamiseks sobib korreleeritud kõverate põhjal keskmise kõvera arvutamine. Antud meetod tolereerib ka üksikuid gamma-kõverate korreleerimise käigus tekkivaid ebatäpsuseid, mis ei mõjuta kihtide asukohti, vaid nendest pärineva radiatsiooni keskmiseid väärtuseid, mis omakorda ei mõjuta kihtide lateraalse leviku hindamist.

Väga häid tulemusi andis paljandist mõõdetud magnetilise vastuvõtlikkuse korreleerimine gammakarotaaži tulemustega. Seetõttu on võimalik paljandi litostratigraafilist ülesehitust üle kanda näiteks väikese saagikusega puursüdamikele või vajadusel kogu uuringualale. Andmete täpsuse ja usaldusväärsuse tõstmiseks võib kaaluda magnetilise vastuvõtlikkuse mõõtmist teistest selle piirkonna paljanditest.

Käesolev töö põhineb puuraukude andmetel, mis asuvad ida-lääne suunaliselt. Meetodi täiendavaks kontrollimiseks peaks lisama ka põhja-lõuna suunalise puuraukude profiili ja selle andmed, et oleks arvestatud ka selle suunaline lateraalne muutlikkus.

Kokkuvõte

Narva karjääris toimub põlevkivi kaevandamine vaalmeetodil, kuid ee nihkudes lõuna suunas muutub eemaldamist vajav katend üha paksemaks. Sellest tulenevalt muutub pealmaakaevandamine üha ebaratsionaalsemaks ning kasulikum oleks jätkata allmaakaevandusega. Senises praktikas on Eestis põlevkivi allmaakaevandusi rajatud paksu Ordoviitsiumi katendi kivimite alla. Narva karjääris oleks allmaakaevanduse rajamisel täiesti uus olukord, kuna suure osa katendist moodustavad küllaltki pudedad ja savikad Kesk-Devoni kivimid.

Käesolevas töös kasutati Narva lademe lateraalse ja litorstratigraafilise leviku kirjeldamiseks puuraukudest mõõdetud loodusliku gammakarotaaži ja paljandist mõõdetud magnetilise vastuvõtlikkuse omavahelist korreleerimist. Selle eesmärgiks oli uurida, kas oleks võimalik asendada praegune madala puursüdamiku saagikusega puurimine hoopis südamikuta puurimise ja gammakarotaažiga.

Töö käigus korreleeriti puuraugud omavahel vaid gamma-kõverate ja magnetilise vastuvõtlikkuse kõvera alusel ning loodi kõigi puuraukude gamma-andmete põhjal kogu uuringuala kirjeldav keskmine gammakõver. Saadud tulemuse vastavust reaalsele olukorrale maapõues kontrolliti paljandi ja puursüdamike litoloogiliste kirjelduste võrdlemisega.

Gammakarotaaži ja magnetilise vastuvõtlikkuse kõverate omavaheline korreleerimine annab üldiselt häid ja usaldusväärseid tulemusi, mille põhjal võib järeldada, et uuringualal leviv Narva lade on lateraalselt ja litorstratigraafiliselt ühtlane.

Praeguse töö andmete aluseks olevad puuraugud asuvad ida-lääne suunaliselt. Meetodi täpsuse ja usaldusväärsuse tõstmiseks oleks soovitatav teha samasugune profiil ka põhja-lõuna suunaliselt.

Summary

Geology of Narva stage in frontline of Narva open pit mine in autumn 2014

Oil shale mining in the Narva open-pit mine is steadily advancing towards south. That causes a problem of caprock getting thicker because oil shale layers are slightly tilted to the south as all sedimentary rock layers in Estonia. From one point it is not rational to continue mining in open pit mine and more rational would be to switch to underground mining. Today Estonian underground oil shale mines are under thick Ordovician limestone. In Narva open pit mine big part of the caprock consists of argillaceous Middle-Devonian rocks which would be totally new situation for underground mining in Estonia.

In this paper natural gamma ray logging data from boreholes and magnetic susceptibility data measured from outcrop was correlated to describe lateral and lithostratigraphic distribution of Narva formation. Purpose of this work is to study an option to replace core drilling which has low yield in argillaceous Middle-Devonian rocks with cable tool drilling and natural gamma ray logging instead.

Boreholes were correlated using only natural gamma ray and magnetic susceptibility logs. Also an average gamma ray log was created to describe whole study area based on natural gamma ray data from all boreholes. To verify that the correlation is corresponding to the situation underground, lithology of correlated outcrop and drill cores were described and compared.

Correlating boreholes on the basis of natural gamma ray and magnetic susceptibility logs gives quite good and reliable results which allows to conclude that lateral and lithostratigraphic distribution of Narva formation in study area is constant.

Natural gamma ray data used in this paper is measured from boreholes which are located more or less on the line from east to west. To improve the quality of the method it is recommended to make same natural gamma ray correlation method on the profile from north to south also.

Tänuavaldused

Tänan väga oma juhendajaid Jüri Pladot ja Hardi Aosaart, kes andsid terve loomeprotsessi jooksul väga konkreetset tagasisidet ja olid nõuga abiks kui olin hätta jäämas.

Lisaks soovin tänada Väino Puurat tema asjatundliku nõu eest, mis aitas mõista uuringuala kujunemise protsesse.

Eriti sooviksin tänada nende päevade ja nädalate jooksul kõige lähemal seisnud inimest, Mare Laant, kes vajalikel hetkedel oli nõu ja jõuga abiks.

Kasutatud kirjandus

Cooper, G.R.J., 1999. SignProc: A program for filtering magnetic profile data. *Southern African Geophysical Review*, 3, pp. 69–75.

Gazizov, M.S., 1972. Karst and its influence on Mining. Nauka, Moskva. (Vene keeles).

Heinsalu, Ü. & Andra, H., 1975. Jointing in the Estonian oil shale basin and geophysical research methods for its study. Valgus, Tallinn.

Kleesment, A.E. & Shogenova, A., 2005. Lithology and evolution of Devonian carbonate-cemented rocks in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 54, pp. 153–180.

Kleesment, A.E., 1995. Lithological characteristics of the uppermost terrigenous Devonian complex in Estonia. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Geology*, 44(4), pp. 221–233.

Kleesment, A.E. & Mark-Kurik, E., 1997. Middle Devonian. Rmt.: Raukas, A. & Teedumäe, A. (eds), *Geology and Mineral Resources of Estonia*. Estonian Academy Publishers, Tallinn, pp. 112–121.

Kuršs, V., 1992. The Devonian Clastic Sedimentation in the Main Devonian Field. Zinante, Riia.

Ljaš, J., 2015. Narva karjääri lõunaosa Narva lademe kaartide koostamin., *Geotehnoloogia tootmispraktika AKM0263*.

Nikišin, A.M., Ziegler, P.A., Stephenson, R.A., Cloetingh, S.A.P., Furne, A.V., Fokin, P.A., Ershov, A.V., Bolotov, S.N., Korotaev, M.V., Alekseev, A.S., Gorbachev, V.I., Shipilov, E.V., Lankreijer, A., Bembinova, E.Y.U., Shalimova, I.V., 1996. Late Precambrian to Triassic history of East European Craton; dynamics of sedimentary basin evolution. *Tectonophysics*, 268, pp. 23–63.

STEIGER, OÜ Inseneribüroo, 2014. Sirgala, Narva ja Narva II mäeeraldiste lõunaosa geoloogiliste ja hüdrogeoloogiliste uurimistööde aruanne. Töö nr 14/1299, Tallinn.

Paškevičius, J., 1997. The Geology of the Baltic Republics. Vilnius University, Geological Survey of Lithuania, Vilnius.

Phillips, W.E.A., Stillmann, C.J. & Murphy, T., 1976. A Caledonian plate tectonic model. *Journal of the Geological Society of London*, 132, pp. 579–609.

Plink-Björklund, P. & Björklund, L., 1999. Sedimentary response in the Baltic Devonian Basin to post collisional events in the Scandinavian Caledonides. *GFF*, 121, pp. 79–80.

Plink-Björklund, P. & Björklund, L., 2004. The Baltic Basin stratigraphic record: reflections of tectonothermal and magmatic events in the Scandinavian Caledonides and Trans-European Suture Zone. 26th Nordic Geological Winter meeting, January 6-9. Uppsala.

Puura, V. & Mardla, A., 1972. The Structural dissection of sedimentary cover of Estonia. *Proceedings of the Academy of Sciences of the Estonian SSR Chemistry Geology*. Vol 21, pp. 1, 71–77.

Puura, V., Vaher, R. & Tuuling, I., 1999. Pre-Devonian landscape of the Baltic Oil-Shale Basin, NW of the Russian Platform. *Rmt.: Smith, B.J., Whalley, W.B., Warke, P.A. (eds), Uplift, Erosion and Stability: Perspectives on Long-term Landscape Development*. Geological Society of London, pp. 75–83.

Roberts, D., 2003. The Scandinavian Caledonides: event chronology, paleogeographic settings and likely modern analogues. *Tectonophysics*, 365, pp. 283–299.

Schwan, W., 1997. Europe. *Rmt.; Moores, E.M. & Fairbridge, R.W. (toim), Encyclopedia of European and Asian Regional Geology*. Springer Science & Business Media, London, pp. 201–227.

Ziegler, P. A., 1990. Geological Atlas of Western and Central Europe. The Hague Geological Society, Shell International Petroleum.

Tavast, E. & Raukas, A., 1982. The Bedrock Relief of Estonia. Valgus, Tallinn.

Tuuling, I., 1988. Pre-Devonian and pre-Quaternary relief in the eastern part of the Baltic phosphorite-oil shale basin (Luuga-Narva lowland). Proceedings of the Academy of Sciences of the Estonian SSR Geology, 37, 4, pp. 145–152.

Tänavsuu-Milkeviciene, K., 2009. Transgressive to regressive turnaround in the Middle Devonian Baltic Basin. Dissertationes Geologicae Universitatis Tartuensis.

Tänavsuu-Milkeviciene, K., Plink-Björklund, P., Kirsimäe, K. & Ainsaar, L., 2009. Coeval versus reciprocal mixed carbonate-siliciclastic deposition, Middle Devonian Baltic Basin, Eastern Europe: Implications from the regional tectonic development. Sedimentology, 56(5), pp. 1250–1274.

Valiukevičius, J. J., Kleesment, A.E., Kurik, E.J. & Vaitekunene, G.K., 1986. Correlation and organic remains of sedimentations of Narva stage (Корреляция и органические остатки отложений наровского горизонта). Zinatne, Riia, pp. 73–86, (vene keeles).

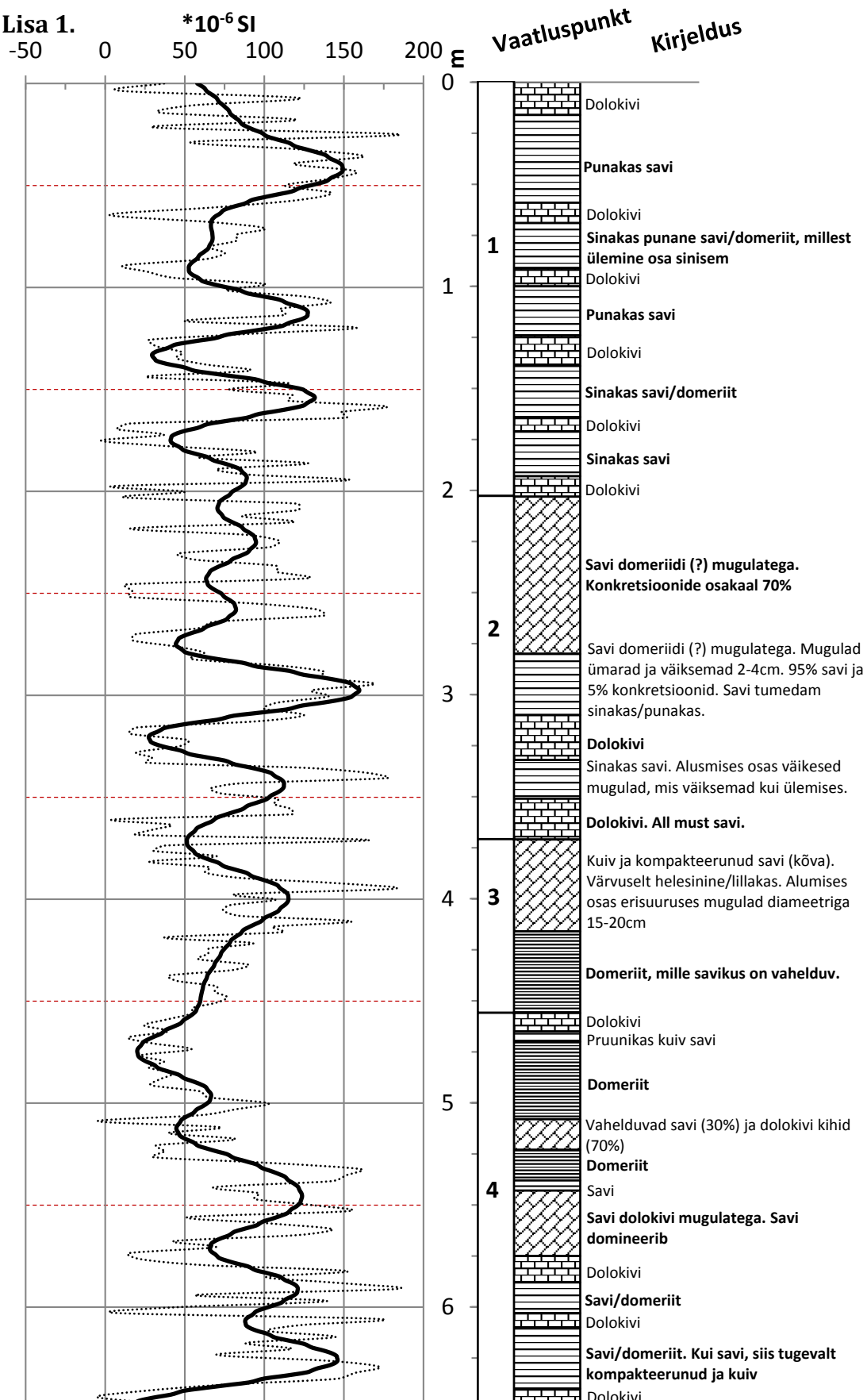
Kasutatud veebileheküljed

Eesti geokogud, 2006(2013). GIT 398-826: bretscha, Sirgala karjäärast.
<http://geokogud.info/specimen.php?id=125338#> (viimati vaadatud 20.05.2015).

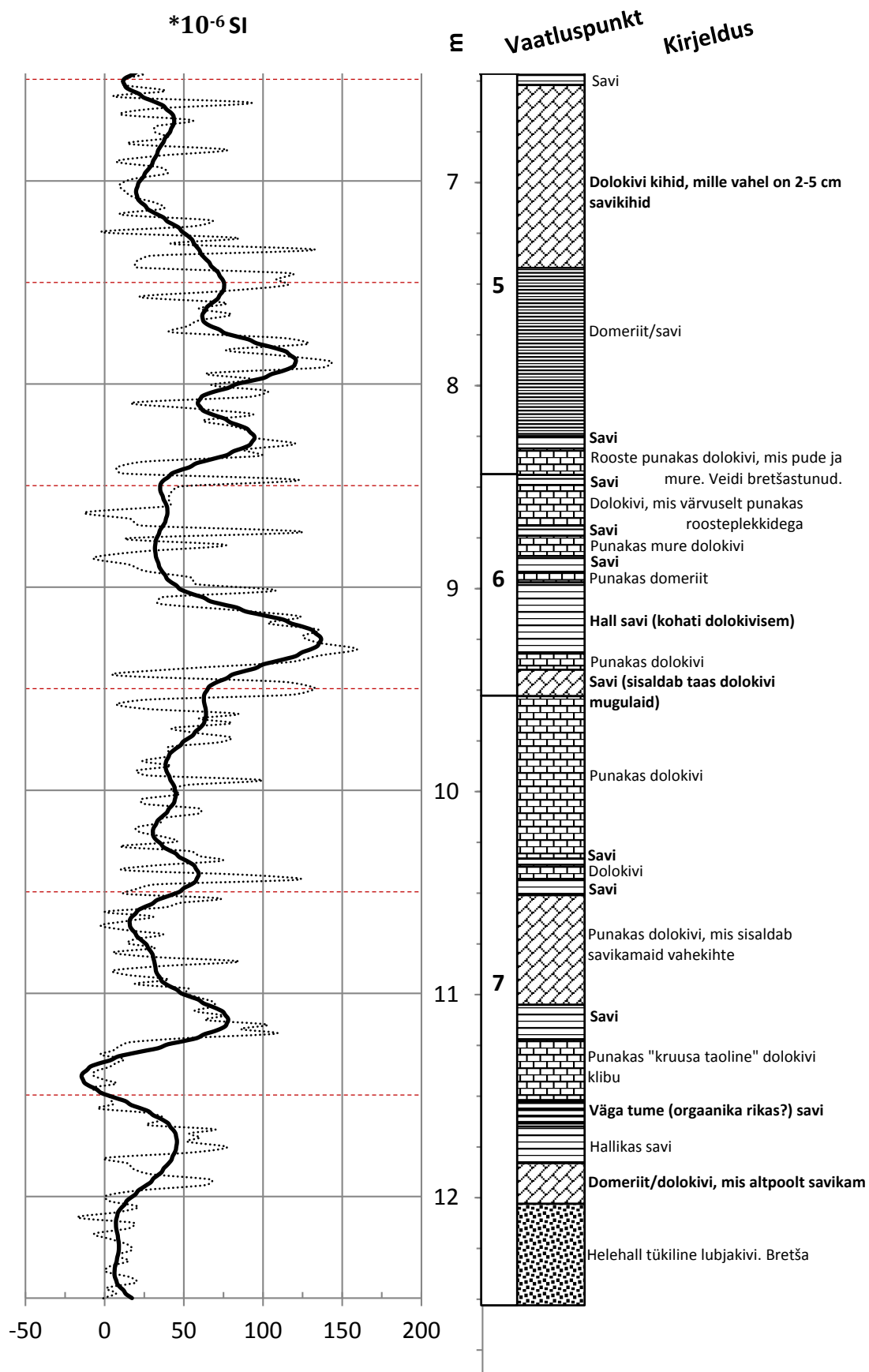
Pöldvere, A., 2014. Eesti Devoni stratigraafia.
http://stratigraafia.info/materjalid/eesti_strat/Devonian_2014.pdf (viimati vaadatud 20.05.2015).

Lisad

Lisa 1.



A. Paljandi kirjeldus võrrelduna vaatluspunktidest 1 – 4 magnetilise vastuvõtlikkusega. Pidevjoon on keskmistatud graafik, punktiir on originaal. Joonis jätkub järgmisel lehel.

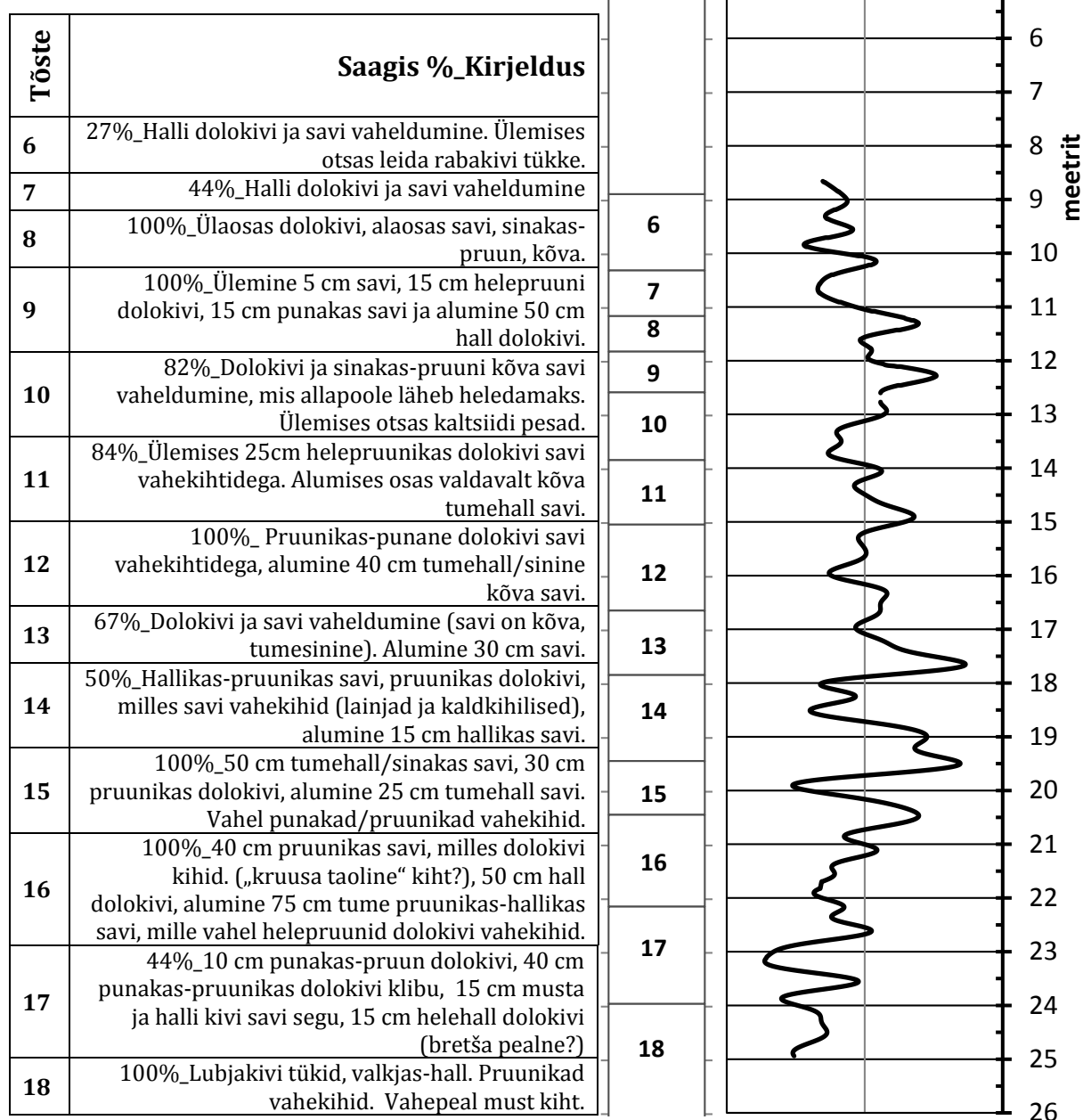


B, Paljandi kirjeldus vaatluspunktides 5–7 võrrelduna magnetilise vastuvõtlikkusega. Pidevjoon on keskmistatud graafik, punktiir on originaal.

Lisa 2. PA-12

Tegu uuringuala kõige idapoolsema puurauguga (Joonis 1; 11).

Lõigatud kolmest kohast: 4,42 (8,25 originaal sügavus), 12,60 (12,43) ja 21,70 (21,37).



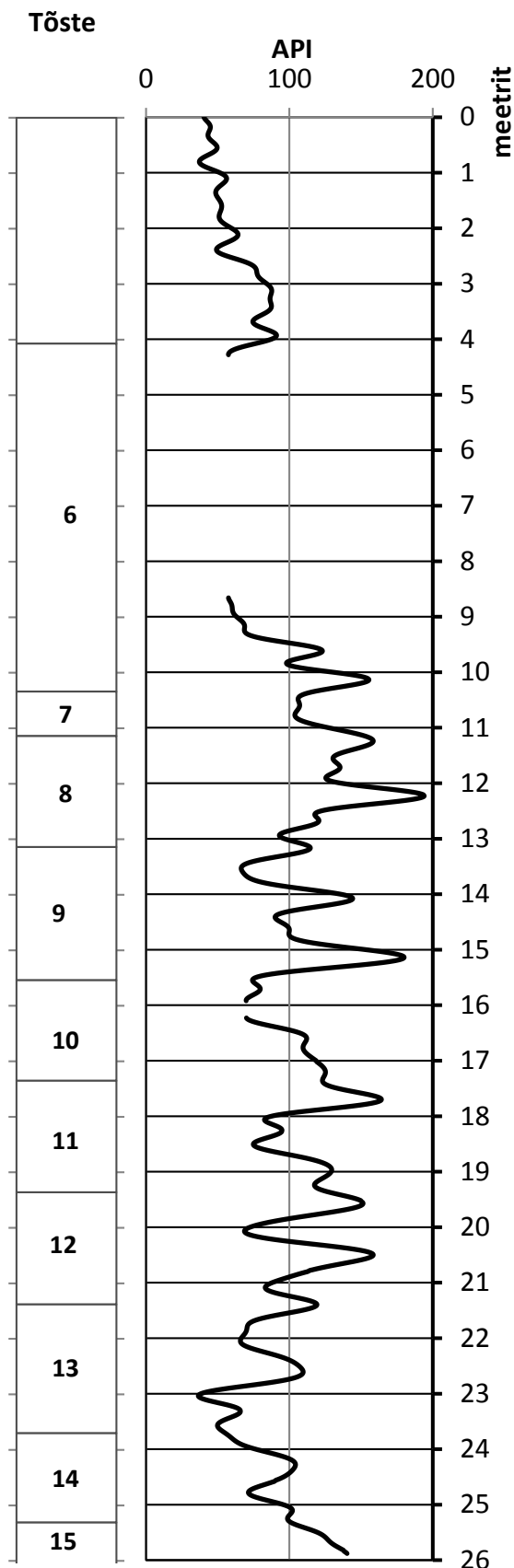
PA-12. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

Lisa 3. PA-11

Gammakõverat on lõigatud kahest kohast:
4,28 (8,11 originaal sügavus) ja 15,92 (15,38).

Kirjeldus OÜ Inseneribüroo STEIGERilt.

Tõste	Saagis %_Kirjeldus
6	79%_Dolokivi ja savi vaheldumine, tumesinine savi, kõva
7	63%_Valdavalt dolokivi, punakas-pruuni savi vahekihtidega
8	65%_Ülemises osas valdavalt dolokivi, tumesinine, kõva savi vaheldumine. Alumises osas valdavalt kõva savi, tumesinine kuni punakas-pruun.
9	42%_Valdavalt dolokivi, savi vahekihtidega (savi väljapestud), beežikas-hall
10	100%_Dolokivi ja savi vaheldumine, tumesinine kõva savi
11	45%_Valdavalt dolokivi, savi vahekihtidega (savi väljapestud), tumesinine, kõva savi
12	25%_Valdavalt dolokivi, savi vahekihtidega (savi välja pestud)
13	22%_Valdavalt dolokivi, savi vahekihtidega (savi välja pestud)
14	31%_ Lubjakivi põlevkivi vahekihtidega.
15	100%_Lubjakivi põlevkivi ja mergli vahekihtidega

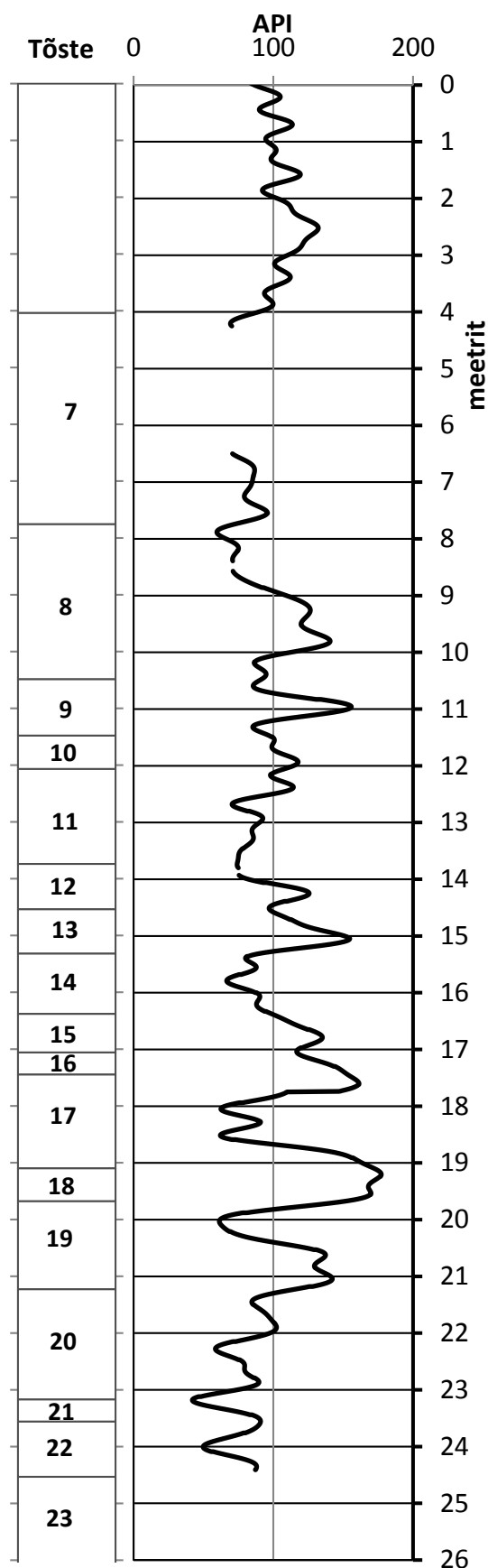


PA-11. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

Lisa 4. PA-10

Kõverat lõigatud kolmest kohast: 4,25 (8,11 originaal sügavus), 8,39 (10,04) ja 13,80 (15,36).

Tõste	Saagis %_Kirjeldus
7	40%_Sinakas-hall savipuru, milles üksikud dolokivi tükid. Selles tõstes Q/D piir.
8	15%_Dolokivi savi vahekihtidega, hall. Ülemine osa punakam.
9	100%_10 cm PUNAKAS dolokivi, 40 cm hallikas dolokivi, milles pruunikad kihid. Alumine 50 cm hall savi, milles 10 cm dolokivi vahekiht.
10	100%_Ülemine osa punakas savi, milles hallikad dolokivi vahekihid. Alumine 25 cm hall dolokivi, milles punakad savi vahekihid.
11	41%_20 cm punakas dolokivi, milles savi vahekihid. Näha katkestuspind või kihiline sekundaarne mineralisatsioon (diapirism?). Helehall (kohati pruunikas) dolokivi jätkub, alumine osa sinakas-hall savi.
12	86%_Valdavalt kõva savi, milles dolokivi mugulad. Sinakas-hall, ülevalt heledam, alt tumedam.
13	63%_Dolokivi savi vahekihtidega, sinakas-hall kuni punakas-pruun.
14	45%_Helehall dolokivi, milles kitsad savirikkamad tumedamad sinakas-hallid savi vahekihid.
15	100%_Tumehalli (sinaka) savi klibu, milles kõvemad dolomiitsemad vahekihid
16	100%_Savi kuni domeriit, sinakas-hall kuni tumesinine
17	80%_Helehall dolokivi savi vahekihtidega (tumesinine), sinakas-hall. Alumises otsas 8 cm sinaka savi kiht (ülejäänud tõenäoliselt ära pestud).
18	100%_Sinakas-hall domeriit kuni savi, keskelt hallikam punakate vahekihtidega ja alumine 30 cm taas sinakas.
19	44%_Algab halli dolokiviga, kuid läheb järjest savikamaks punakate vahekihtidega. Sinakas-hall tume savi, milles punakad kohad ja dolokivi vahekihid, alumine 10 cm tükiline punakas dolokivi.
20	30%_Savi (läinud), kastis pruunid dolokivi tükid, milles omakorda punakad vahekihid.
21	100%_10 cm tumepruun/mustjas lubjakivi/dolokivi, 25 cm helehall kuni pruunikas lubjakivi/dolokivi ning alumine 5 cm mustjas savi.
22	35%_Ülemine ots tumepruun savi. Alumises osas lubjakivi fragmendid (bretša?)
23	78%_40 cm lubjakivi tükid, mille vahel pruunikad vahekihid. 25,50 peal on dolomiidistunud lubjakivi vahekiht.



PA-10. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

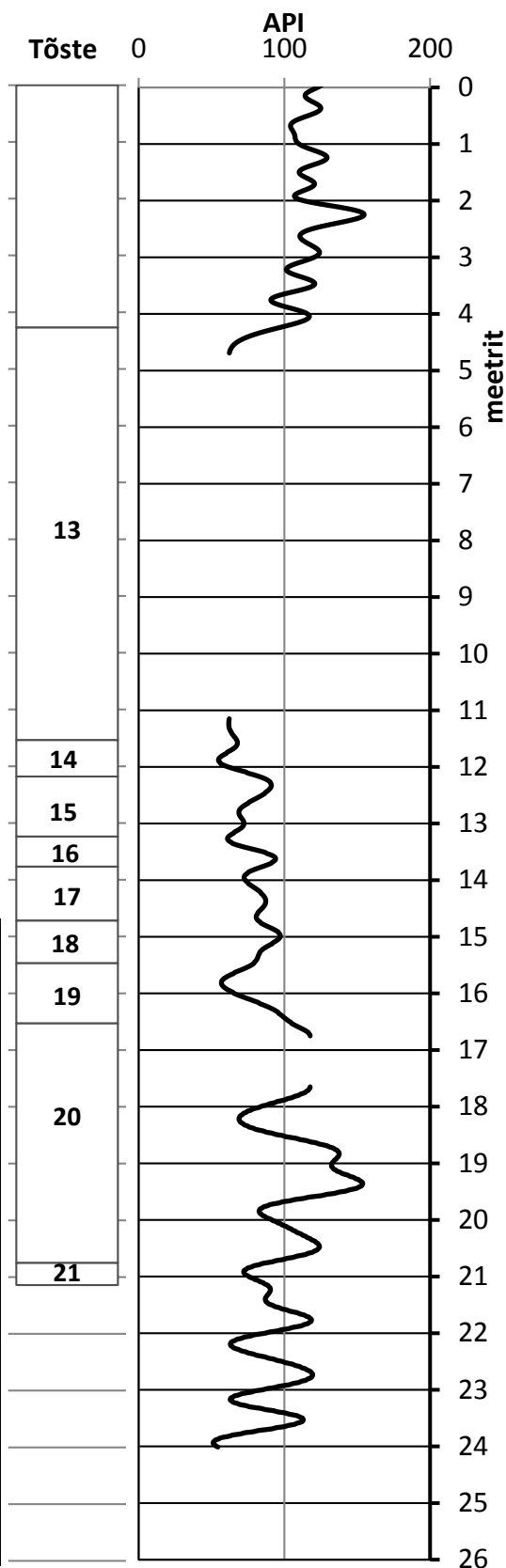
Lisa 5. PA-9

See puurauk on antud töö käigus uuritud paljandile kõige lähem gammakarotaažiga puurauk (Joonis 1). Samas pole tegu hea võrdlusmaterjaliga kuna antud puuraugu Narva lademe ülemine osa on suuremal määral erodeeritud kui teistel selle piirkonna puuraukudel (Joonis 11) ning teadmata hulk materjali alumisest otsast on ebausaldusväärne, kuna puurseade jäi kinni.

Kirjeldus OÜ Inseneribüroo STEIGERilt.

Kõverat lõigati kahest kohast: 4,69 (13,92 originaal sügavus) ja 16,75 (19,21).

Tõste	Saagis %_Kirjeldus
13	38%_Dolokivi, beež kuni hall, punaka varjundiga, pruunid savi vahekihid
14	58%_Pruuni ja sinise savi ning dolokivi vaheldumine
15	70%_Savi, tumesinine, õhukesed pruunid savi ja dolokivi vahekihid
16	100%_Dolokivi, tumesinise ja tumepruuni savi vahekihtidega
17	30%_Savi, pruun kuni tumesinine, dolokivi vahekihtidega
18	100%_Savi, tumesinine, tihe, üksikute dolokivi ja pruuni savi vahekihtidega
19	40%_Savi, tumesinine, tihe, üksikute dolokivi ja pruuni savi vahekihtidega. Savi on väljapestud (kastis ainult dolokivi).
20	31%_Savi, tumesinine, tihe, üksikute dolokivi ja pruuni savi vahekihtidega (valdavalt pruun savi, dolokivil on punakaspruunid laigud)
21	67%_Dolokivi savi vahekihtidega (savi välja pestud)



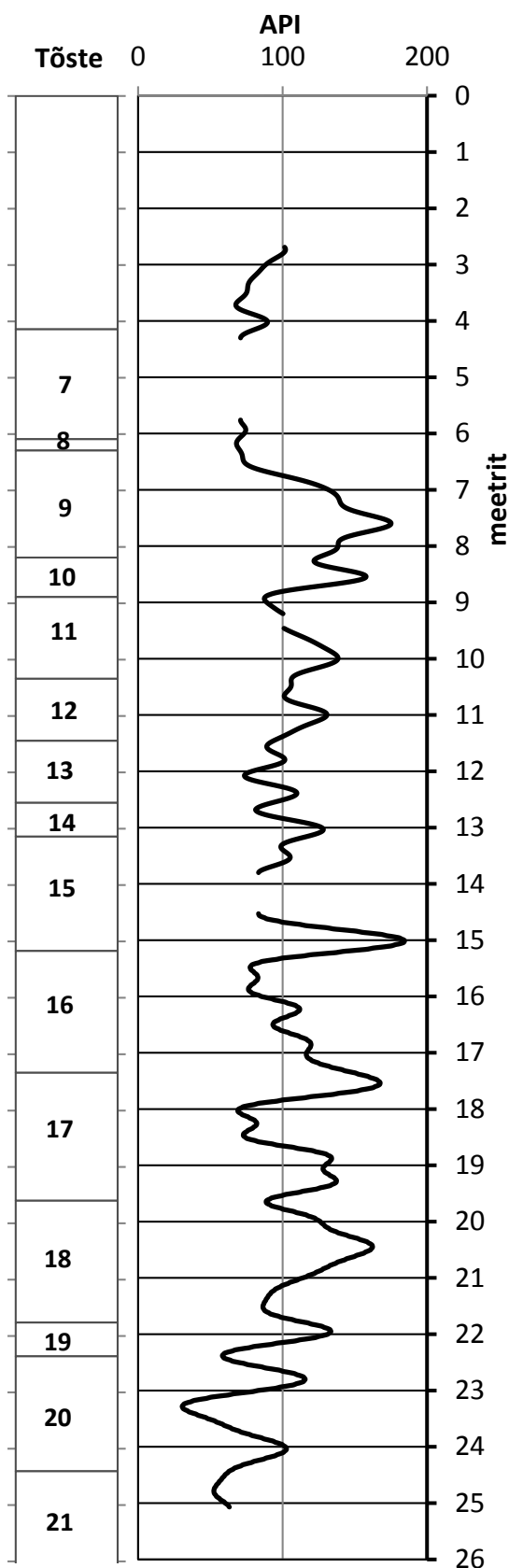
PA-9. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on üks puuritud kärnimaterjali intervall.

Lisa 6. PA-7

Kõver on lõigatud kolmest kohast: 4,30 (4,16 originaal sügavus), 9,20 (7,61) ja 13,80 (11,96).

Kirjeldus OÜ Inseneribüroo STEIGERilt.

Tõste	Saagis %_Kirjeldus
7	80%_Savi, kõva, kuiv, sinakas-hall kuni punakas-pruun, sisaldab dolokivi tükke
8	Puursüdamikku ei ole. Puurimise järgi savi.
9	37%_Ülemises osas dolokivi, alumises osas savi, kõva, sinakas-hall kuni punakas-pruun
10	100%_60 cm savi, kõva, punakas-pruun kuni sinakas-hall. 10 cm dolokivi, hall.
11	100%_50 cm dolokivi, esineb savi vahekihte, hall. 70 cm savi, kõva, sinakas-hall, lõpus on dolokivi tükid.
12	95%_Valdavalt savi, kõva, sinakashall. All 10 cm dolokivi
13	91%_Valdavalt dolokivi, hall. Alumises osas ~0,20 savi, kõva
14	75%_Dolokivi, hall, punakas-pruuni savi vahekihtidega
15	50%_Dolokivi, hall, sinakas-halli kõva savi vahekihtidega
16	72%_Dolokivi, hall, sinakas-halli kõva savi vahekihtidega
17	68%_Dolokivi, hall, esineb punakas-pruune savikamaid vahekihte ja tsoone
18	28%_Dolokivi, hall, punakas-pruuni savi vahekihtidega
19	100%_Ülaosas savi, sinakas-hall. Alumises osas punakas-pruun savi.
20	35%_Savi, kõva, sinakas-hall kuni punakas-pruun. Alumises osas ~0,10 dolokivi/lubjakivi, valkjas-hall
21	100%_Lubjakivi, valkjas-hall. Alumises osas ~0,30 pruun põlevkivi vahekiht.

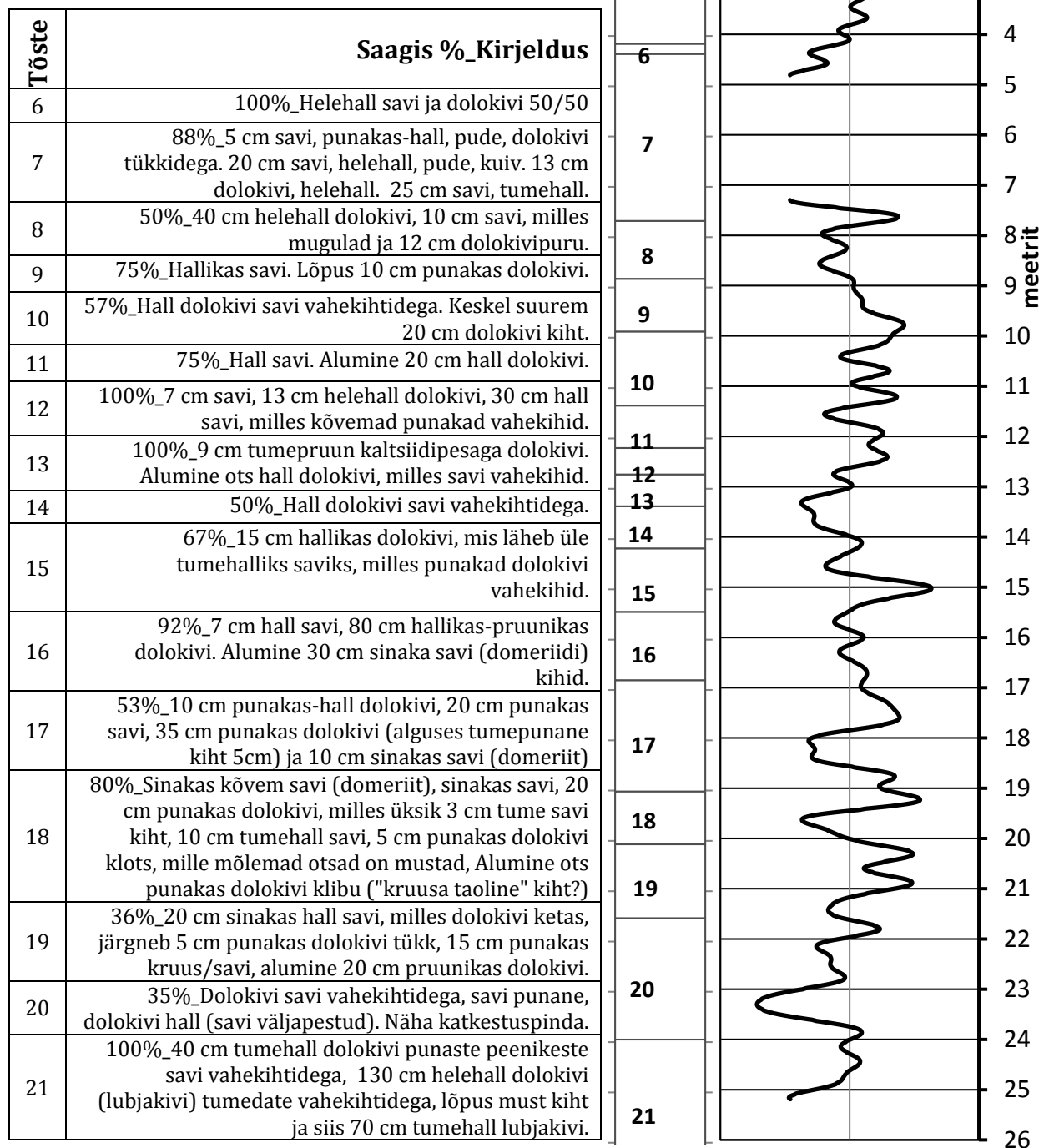


PA-7. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

Lisa 7. PA-6

Köver on lõigatud ühest kohast: 4,81 (4,93 originaal sügavus).

Tegu ühe juhtkõveraga, kuna selles puursüdamikus uuringuala üks kõige paksemaid Narva lademe kihte (Joonis 11).

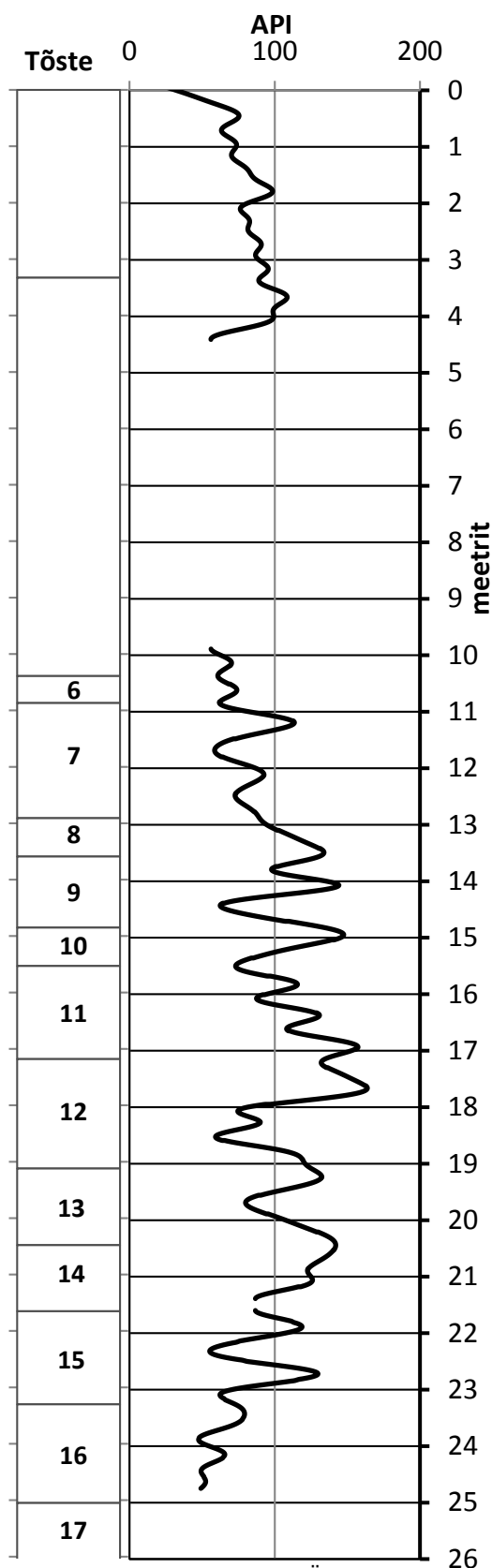


PA-6. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-köver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

Lisa 8. PA-3

Kõver on lõigatud kahest kohast: 4,41 (8,48 originaal sügavus) ja 21,39 (20,34).

Tõste	Saagis %_Kirjeldus
5	63%_Tõenäoliselt sama, mis järgmistes südamikes ehk tumehall, sinakas savi ja helehalli/pruunikas-halli dolokivi vaheldumine, kuid puursüdamikus on kõik vist Q-ga segamini.
6	100%_Tumehalli-sinaka savi ja helehalli/pruunikas-halli dolokivi vaheldumine
7	38%_Tumehalli-sinaka savi ja helehalli dolokivi vaheldumine
8	57%_Tumehalli-sinaka savi ja helehalli dolokivi vaheldumine
9	38%_Ülemises pooles sinakas-hall savi, milles helehall dolokivi tükk (10 cm). Alumises pooles punakas-pruuni dolokivi ja savi fragmendid (ca 13 cm).
10	100%_Ülemises osas punakas dolokivi, mis läheb üle dolokiviks, milles rohkelt tumedaid sinakas halle savi vahekihte.
11	82%_Dolokivi savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun. Alumises osas 15 cm hallikas savi. Leida lainjaid kihipindu ja kaldkihilisust.
12	30%_Ülemine 5 cm savi. Muidu dolokivi rohkete savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun
13	36%_Dolokivi rohkete savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun. Alumises osas rohkem punakat savi, mis läheb ülespoole üle punakaks dolokiviks.
14	100%_Valdavalt kõva sinakas-hall/must/punakas-pruun savi ning dolokivi klibu. Alumine osa punakam ja seal tõenäoliselt punaka kruusa taoline kiht.
15	63%_Alumine 30 cm hallikas-punakas kruus (savi), millele järgneb 20 cm must savi, milles dolokivi vahekihid. Viimased 50 cm savi vahekihtidega dolokivi ning 10 cm savi.
16	65%_23,30-23,92 Pruunikas dolokivi savi vahekihtidega. (23,92 D/O piir?). Alates 23,92 dolomiidistunud lubjakivi, valkjask-hall punakate viirgudega
17	100%_Dolomiidistunud lubjakivi, valkjask-hall, milles vahelduvad helehallid ja tumehallid kihid. Ülemises osas pruunikamad "põlevkivi" vahekihid. Ülemises otsas saviklomp (puurimise jääk?)



PA-3. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

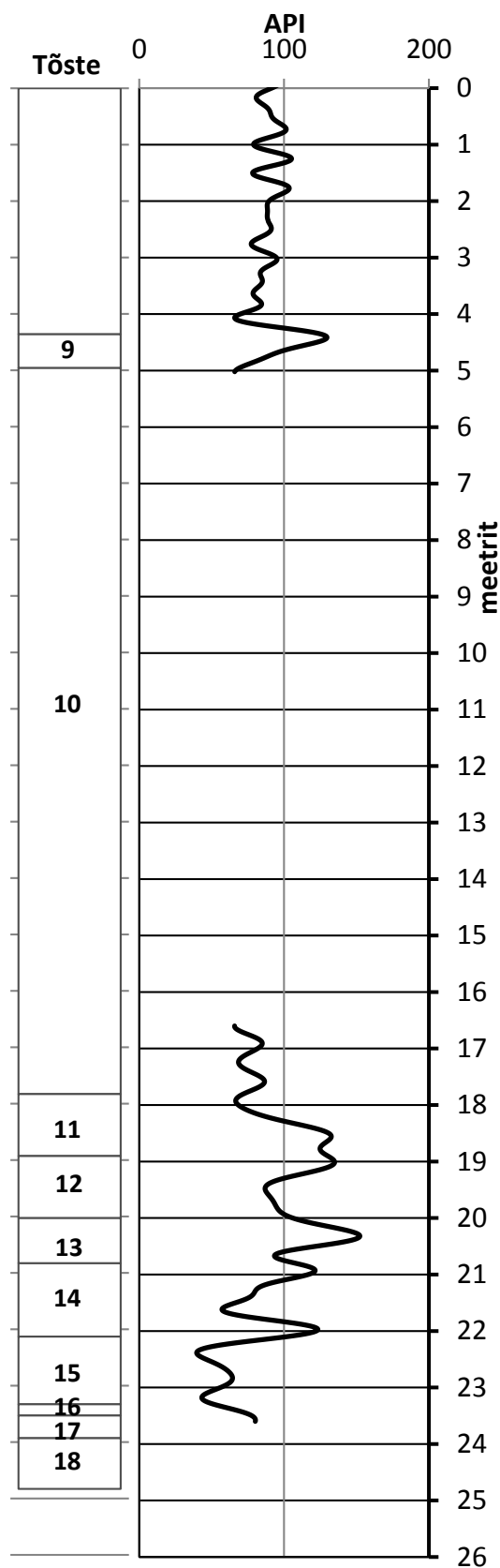
Lisa 9. PA-2

PA-2 ja PA-1 on kaks uuringuala kõige läänepoolsemat puurauku, kus Narva lade hakkab välja kiilduma, mistõttu läbilõiked on märkimisväärselt lühemad kui ülejäänud puuraukudel (Joonis 1; Joonis 11).

Kõver on lõigatud ühest kohast: 5,02 (14,76 originaal sügavus).

Kirjeldus OÜ Inseneribüroo STEIGERilt.

Tõste	Saagis %_Kirjeldus
9	33%_Savi, dolokivi tükkidega, hall
10	38%_Dolokivi savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun
11	55%_Valdavalt savi, kõva, ülaosas dolokivi tükkidega, sinakas-hall
12	82%_Savi, sinakas-hall kuni punakas-pruun, kõva
13	100%_Ülaosas savi, sinakas-hall, alumises osas dolokivi
14	54%_Dolokivi savi vahekihtidega, sinakas-hall kuni punakas-pruun
15	50%_Dolokivi savi vahekihtidega, pruunikas-hall
16	100%_Dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall
17	100%_Dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall
18	100%_Dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall



PA-2. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

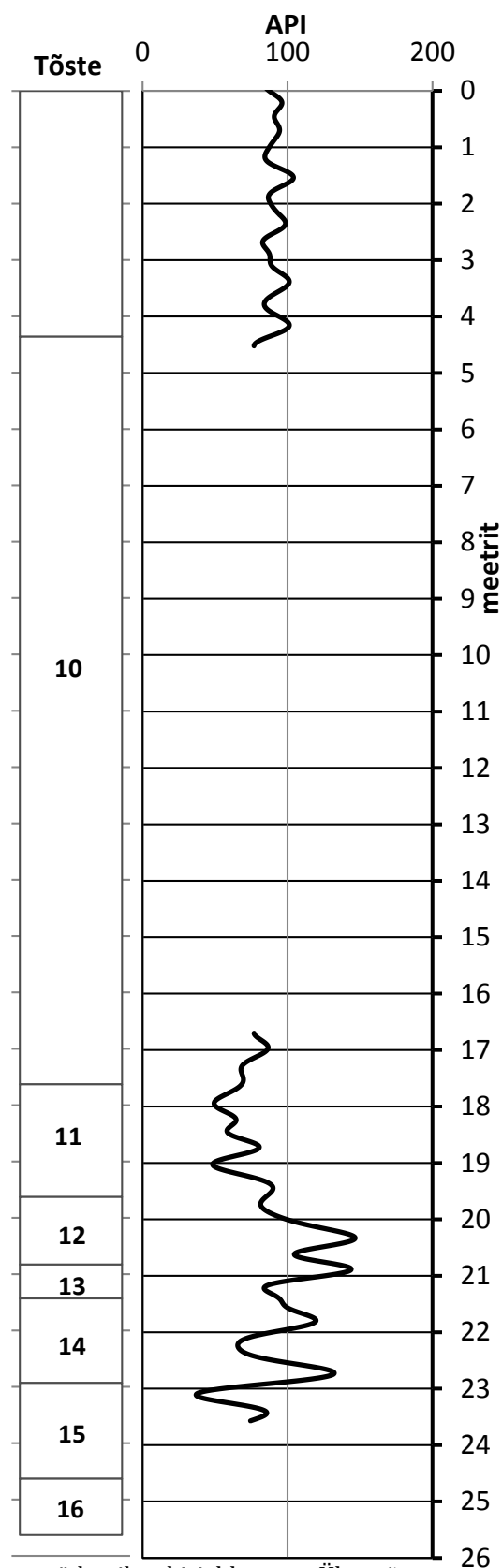
Lisa 10. PA-1

Tegu on uuringuala kõige läänepoolsema puurauguga, mistõttu ka antud töö käigus uuritud puursüdamikest kõige õhema Narva lademe esindatusega (Joonis 1; Joonis 11)

Kõver on lõigatud ühest kohast: 4,52 (14,06 originaal sügavus).

Kirjeldus OÜ Inseneribüroo STEIGERilt.

Tõste	Saagis %_Kirjeldus
10	73%_4,36 - 4,46 Saviliiv/liivsavi, hall, veeristega. Alates 4,46m dolokivi savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun
11	20%_Valdavalt dolokivi, hall kuni punakas-pruun, savi vahekihtidega
12	100%_16,93-20,53 Valdavalt savi, dolokivi tükkidega, sinakas-hall kuni punakas-pruun. 20,53-20,83 Valdavalt dolokivi, hall
13	100%_Dolokivi savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun
14	27%_Dolokivi savi vahekihtidega, hall kuni punakas-pruun
15	59%_22,93-23,83 Dolokivi savi vahekihtidega. (23,83 D/O piir). 23,83-24,63 dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall
16	80%_Dolomiidistunud lubjakivi, valkjas-hall



PA-1. Keskmistatud ja korreleeritud gamma-kõver koos puursüdamiku kirjeldusega. Ühe tõste tulemuseks on ühe puurimise käigus saadud puursüdamiku intervall.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Sander Olo,

(autori nimi)

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
NARVA LADEME GEOLOOGILINE EHITUS NARVA KARJÄÄRI EES SEISUGA
SÜGIS 2014,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendajad on Jüri Plado ja Hardi Aosaar,

(juhendaja nimi)

reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni; üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus **21.05.2015**